

**DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN ROBOT MOVIL DETECTOR DE  
MINAS ANTIPERSONALES**

**RICARDO ARANA QUIROGA  
ALEJANDRO RAMIREZ SAAVEDRA**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
DEPARTAMENTO DE AUTOMATICA Y ELECTRONICA  
PROGRAMA DE INGENIERIA MECATRONICA  
SANTIAGO DE CALI  
2007**

**DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN ROBOT MOVIL DETECTOR DE  
MINAS ANTIPERSONALES**

**RICARDO ARANA QUIROGA  
ALEJANDRO RAMIREZ SAAVEDRA**

**Trabajo de grado para optar al título de  
Ingeniero Mecatrónico**

**Director  
DRAGO DUSSICH  
Ingeniero Mecatrónico**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
DEPARTAMENTO DE AUTOMATICA Y ELECTRONICA  
PROGRAMA DE INGENIERIA MECATRONICA  
SANTIAGO DE CALI  
2007**

Nota de aprobación:

Aprobado por el Comité de  
Grado en cumplimiento de los  
requisitos exigidos por la  
Universidad Autónoma de  
Occidente para optar al título  
de Ingeniero Mecatrónico

Ing. BERNARDO ROGER SABOGAL

Jurado

Ing. ANDRES FELIPE NAVAS

Jurado

Santiago de Cali, 16 de Julio de 2007

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
<b>RESUMEN</b>	
<b>INTRODUCCION</b>	<b>12</b>
<b>1. OBJETIVOS</b>	<b>13</b>
1.1 OBJETIVO GENERAL	13
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	13
<b>2. PLANEACION DEL PROYECTO</b>	<b>14</b>
2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
2.2 IDENTIFICACION DE NECESIDADES	14
<b>2.3 ESPECIFICACIONES TECNICAS</b>	<b>15</b>
2.3.1 Especificaciones preliminares	15
2.4 ANTECEDENTES	16
<b>3. GENERACIÓN DE CONCEPTOS</b>	<b>18</b>
<b>3.1 DESCOMPOSICION FUNCIONAL</b>	<b>18</b>
3.1.1 Diagrama de caja negra	18
3.1.2 Refinamiento en bloques de subfunciones	19
3.1.3 Rama crítica y desglose de una subfunción	20
<b>3.2 GENERACION DE CONCEPTOS PARA SUBFUNCIONES</b>	<b>20</b>
3.2.1 Sensar entorno	20
3.2.2 Analizar información	20
3.2.3 Toma de decisiones	21
3.2.4 Soltar disco	21
3.2.5 Desplazar robot	23
<b>3.3 COMBINACIÓN DE CONCEPTOS</b>	<b>23</b>
3.3.1 Concepto A	24
3.3.2 Concepto B	25
3.3.3 Concepto C	26
3.3.4 Concepto D	26

3.3.5 Concepto E	27
<b>4 SELECCIÓN DE CONCEPTOS</b>	<b>28</b>
4.1 MATRIZ DE TAMIZAJE	28
4.2 EXPLORACION Y PERFECCIONAMIENTO DE CONCEPTOS	29
4.3 ASIGNACION DE PONDERACIONES	29
4.4 MATRIZ DE EVALUACIÓN	30
4.5 ESPECIFICACIONES FINALES	31
<b>5 DESARROLLO DE LA ARQUITECTURA DEL PRODUCTO</b>	<b>32</b>
5.1 ANÁLISIS DE LA ARQUITECTURA DEL PRODUCTO	32
5.2 INTERACCIONES ENTRE ELEMENTOS FÍSICOS Y FUNCIONALES	32
5.3 ESQUEMA DEL PRODUCTO	33
5.4 DISTRIBUCIÓN GEOMÉTRICA	34
5.5 IDENTIFICACIÓN DE INTERACCIONES FUNDAMENTALES E INCIDENTALES	34
5.6 ARQUITECTURA EN DIFERENTES NIVELES	35
5.7 ARQUITECTURA DEL SISTEMA ELECTRÓNICO	35
<b>6 DISEÑO INDUSTRIAL</b>	<b>36</b>
<b>6.1 VALORACIÓN DEL DISEÑO INDUSTRIAL</b>	<b>36</b>
6.1.1 Ergonómicas	37
6.1.2 Estéticas	38
<b>6.2 IMPACTO DEL DISEÑO INDUSTRIAL</b>	<b>38</b>
6.2.1 Interfaces de usuario	39
6.2.2 Facilidades de mantenimiento y reparación	39
6.2.3 Uso apropiado de los recursos	39
6.2.4 Diferenciación del producto	39
6.3 EVALUACIÓN DE CALIDAD DEL DISEÑO INDUSTRIAL	40
<b>7 DISEÑO PARA MANUFACTURA Y ENSAMBLE</b>	<b>41</b>
7.1 ANÁLISIS DISEÑO PARA MANUFACTURA (DPM)	41
7.1.1 Lista de componentes	41
7.1.2 Impacto del DPM sobre otros factores	42

<b>7.2 ANÁLISIS DEL DISEÑO PARA ENSAMBLE (DPE)</b>	<b>43</b>
7.2.1 Reducción de costo de ensamble	43
7.2.2 Maximización de la facilidad del ensamble	43
<b>7.3 REDUCCIÓN DEL COSTO DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD</b>	<b>44</b>
<b>8 PROTOTIPADO</b>	<b>46</b>
<b>9 DISEÑO DETALLADO</b>	<b>47</b>
9.1 DISEÑO MECÁNICO DE LA ESTRUCTURA Y MECANISMOS	47
9.2 SELECCIÓN DE MOTORES	49
<b>9.3 DESCRIPCIÓN DE LA ARQUITECTURA DE CONTROL Y DISEÑO HARDWARE SOFTWARE</b>	<b>52</b>
9.3.1 Control de movimiento de las llantas	52
9.3.2 Control cerebro del robot	54
9.4 DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO	59
9.5 DESCRIPCIÓN DE SENSORES	67
9.6 RESULTADOS FINALES DEL DESARROLLO	75
<b>10 CONCLUSIONES</b>	<b>76</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>77</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA</b>	<b>78</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>80</b>

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Necesidades identificadas.	14
Tabla 2. Especificaciones técnicas preliminares.	15
Tabla 3. Matriz de tamizaje.	28
Tabla 4. Tabla de ponderación.	30
Tabla 5. Matriz de evaluación.	30
Tabla 6. Especificaciones finales.	31
Tabla 7. Lista general de componentes.	41
Tabla 8. Especificaciones técnicas del servo Hitech HS475HB.	50
Tabla 9. Especificaciones técnicas del Servomotor Standard Parallax.	51
Tabla 10. Lógica del sentido del robot.	53
Tabla 11. Especificaciones técnicas PIC16F874.	58
Tabla 12. Tabla lógica del LMD18201.	60
Tabla 13. Funcionamiento del L293.	62
Tabla 14. Registros de la brújula CMPS03.	70

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Robot buscaminas Japonés.	16
Figura 2. Robot Buscaminas del Instituto Johns Hopkins.	17
Figura 3. Diagrama de caja negra.	18
Figura 4. Descomposición funcional.	19
Figura 5. Rama crítica de las subfunciones.	20
Figura 6. Detalle concepto con servomotor.	22
Figura 7. Detalle concepto con solenoide.	22
Figura 8. Detalle con cremallera	23
Figura 9. Concepto A	24
Figura 10. Concepto B	25
Figura 11. Concepto C	26
Figura 12. Concepto D	26
Figura 13. Concepto E	27
Figura 14. Interacciones entre elementos físicos y funcionales.	32
Figura 15. Esquema general del producto por bloques funcionales (Chunks).	33
Figura 16. Distribución espacial de los Chunks.	34
Figura 17. Interacciones incidentales.	35
Figura 18. Necesidades ergonómicas.	37
Figura 19. Necesidades estéticas.	38
Figura 20. Clasificación del producto.	38
Figura 21. Evaluación de calidad del diseño industrial	40
Figura 22. Esquema de ensamble general.	45
Figura 23. Representación de los prototipos.	46
Figura 24. Explicación del desplazamiento del robot.	47
Figura 25. Esquema del mecanismo de marcación.	48
Figura 26. Servomotor Hitec HS475HB.	50



Figura 27. Servomotor Standard Parallax.	51
Figura 28. Caja negra para el control del movimiento.	52
Figura 29. Esquema funcional del movimiento del robot.	54
Figura 30. Esquema de ubicación de los sensores.	55
Figura 31. Caja negra del control cerebro.	56
Figura 32. Diagrama de flujo del control cerebro.	57
Figura 33. Esquema funcional del control cerebro.	58
Figura 34. Diagrama funcional sistema completo.	59
Figura 35. Diagrama funcional del LMD18201.	60
Figura 36. Tiempos de conmutación.	61
Figura 37. Esquema completo del LMD18201.	61
Figura 38. Control motor dispensador.	63
Figura 39. Circuito de Reset.	64
Figura 40. Esquema sensor infrarrojo.	65
Figura 41. Acondicionamiento de la señal del sensor de metales.	66
Figura 42. Sensor ultrasónico SRF05.	67
Figura 43. Modo de operación del SRF05.	68
Figura 44. Patrón y ancho de haz del SRF05.	69
Figura 45. Funcionamiento del protocolo I2C.	70
Figura 46. Detector de metales K7102 de Velleman Inc	72
Figura 47. Funcionamiento de la detección del metal.	73
Figura 48. Esquema del detector de metales.	74
Figura 49. Modelo virtual del robot “Diminer”.	75
Figura 50. Fotografía del robot “Diminer” construido.	75

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo A. Planos de despieze	80
Anexo B. Planos de subensambles	93
Anexo C. Planos eléctricos	97

## **RESUMEN**

En el presente documento se encuentra descrito todo el proceso de la metodología de diseño concurrente para productos, el cual se aplicó para el desarrollo del robot móvil detector de minas metálicas antipersonales. En el seguimiento del mismo se exponen las necesidades identificadas a partir de los requerimientos de los clientes, la búsqueda externa e interna de posibles competidores, los antecedentes de robots móviles destinados a labores similares, y el estudio a nivel mundial de los adelantos que se han hecho bajo esta rama. Así mismo, se describe el proceso de generación y selección de conceptos empleados para responder a las necesidades previamente identificadas. Adicional a esta información, se complementa el proceso de diseño del robot realizando estudios que nos permitan obtener una perspectiva general de la construcción del mismo, como lo son el diseño para ensamble, manufactura y una evaluación de diseño industrial para observar el impacto del producto en el mercado.

Para presentar de manera explícita el desarrollo del robot, se documenta el diseño detallado del mismo, abarcando así la concepción del diseño mecánico soportado con planos de piezas, vistas explosionadas y modelo virtual del robot. Por otra parte, se muestra y justifica la selección de los diferentes actuadores y sensores que se utilizaron como también los diferentes componentes que se necesitaron para la construcción de los diferentes sistemas electrónicos que se emplearon para el funcionamiento del robot. Además, se observa la arquitectura de control del robot de igual manera que el flujo de las señales que lo manejan.

## INTRODUCCION

Cuando se habla de la mecatrónica lo primero que se viene a la mente es la robótica, y esto se debe a que está hace una perfecta sinergia de lo que son los sistemas electrónicos, mecánicos, de control y de información, lo cuál lleva a crear un sistema inteligente. Dentro del campo de la robótica claramente se identifican dos (2) clases como lo son los robots manipuladores (fines industriales) y los móviles. Está última clase esta orientada a fines investigativos y por ello es de gran estudio a nivel mundial para desarrollar diferentes aplicaciones según sea el deseo del grupo de desarrollo.

Por ello y para responder a este estudio mundial de la robótica móvil es que nace el interés de desarrollar una aplicación que colabore con el conflicto armado que actualmente ocurre en Colombia y en otras partes del mundo como lo es la identificación de las minas antipersonales.

Con el propósito de llevar a cabo esta tarea investigativa es también importante tener en cuenta la exploración en diversos ambientes de una plataforma móvil ya que esta de por medio la seguridad de algún ser humano. Debido a esto, esta aplicación ha tenido gran acogida a nivel local dentro de la comunidad académica agrupando diversas universidades a nivel nacional por medio de concursos donde se ponen a prueba la creatividad y efectividad de los diseñadores en el desarrollo de sus plataformas móviles.

En base a esta información se diseñó e implementó una plataforma móvil con las herramientas necesarias para realizar una navegación básica del ambiente y que al mismo tiempo evada obstáculos y detecte minas. Con este desarrollo se busca incentivar a las próximas generaciones en involucrarse con los robots móviles y generar diferentes aplicaciones que estén en pro de la humanidad.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y construir una plataforma móvil totalmente autónoma con la habilidad para interactuar con el ambiente logrando así una exploración del terreno en donde evada obstáculos, detecte e identifique minas antipersonales.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Implementar sensores que permitan medir variables del ambiente que tomen posteriormente decisiones.
- Desarrollar una inteligencia que le brinde la suficiente autonomía al robot sin necesidad de que un ser humano lo opere.
- Utilizar técnicas de evasión de obstáculos sin necesidad de interactuar con ellos.
- Dotar de un sistema de identificación de minas.
- Implementar un sistema capaz de detectar minas.

## 2. PLANEACION DEL PROYECTO

### 2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se requiere un dispositivo autónomo con la capacidad de enfrentarse a un ambiente adverso (minado) el cual pueda navegar libremente sobre esté sin que un ser humano lo conduzca. Así mismo, debe contar con la habilidad para detectar minas y a su vez proporcionar un medio para identificarlas.

Las herramientas con las que debe contar este dispositivo están definidas por su morfología y sensores (sentidos). La morfología del mismo debe contar con una locomoción apta para el ambiente al que se enfrenta y los sentidos deben personificarse en sistemas que le permitan extraer información del ambiente y ayudar al robot a la evasión de obstáculos sin tener contacto directo con ellos y así poder explorar el terreno en el que se encuentre inmerso.

### 2.2 IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES

Las necesidades se lograron identificar a través de los requerimientos propuestos por las entidades militares resultado de las entrevistas realizadas a instituciones que tienen conocimientos bélicos guiados por el grupo de desarrollo del robot.

Tabla 1. Necesidades identificadas.

#	Necesidad	Imp.
1	El robot contará con un sistema de identificación de minas	5
2	El robot hará la búsqueda de minas sin que se descuiden otras operaciones	5
3	El robot evitará que haya gente herida	5
4	El robot contará con un buen radio de acción	4

5	El robot proporcionará algún tipo de indicación de la mina	3
6	El robot no parará de hacer la exploración de minas después de haber hecho alguna detección	4
7	El robot tendrá la habilidad para no tropezarse con otros objetos	5
8	El robot no necesitará más de un operario para realizar la labor	5
9	El robot será de fácil mantenimiento	3
10	Los dispositivos del robot estarán en el mercado	4

## 2.3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Se estudiaron previamente las necesidades identificadas con el fin de encontrar unos parámetros que permitieran cuantificar dichas necesidades y al mismo tiempo servir de guía a los desarrolladores.

### 2.3.1 Especificaciones preliminares.

Tabla 2. Especificaciones técnicas preliminares.

# Métrica	# Necesidad	Métrica	Imp.	Unidades	Valor
1	1,3	Presición	5	%	90
2	2,8	Autonomía	5	Min.	30
3	4	Brújula	4	Grados	0.1
4	5	Dispensador	4	Lista	3
5	6	Inteligencia	4	Subjetiva	4.5
6	7	Evasión	5	%	90
7	9	Mantenimiento	3	Subjetiva	4
8	10	Costo de elementos	4	\$	1'500.000

## 2.4 ANTECEDENTES

El campo de la robótica móvil viene desarrollándose desde hace tiempo en el mundo aunque en Colombia no ha tenido mucho auge.

Realizando una búsqueda externa de información sobre aplicaciones de robots móviles hacia incidentes que ateten contra la vida humana se ha encontrado un robot buscaminas desarrollado en la Universidad Japonesa de Chiba en Tokio por Kenzo Nonari, su locomoción viene inspirada por la de un insecto (ver figura 1) y esta conformado por 6 patas, radar, cámara para ver el terreno y chaleco antibalas.

Figura 1. Robot buscaminas Japonés.



Por otro lado, se ha encontrado un dispositivo desarrollado por cuatro (4) estudiantes de Ingeniería del Instituto Johns Hopkins con una locomoción tipo oruga (ver figura 2), la cual es controlada remotamente para encontrar minas antipersona en terrenos rugosos y una vez detectadas mediante una pintura en spray marca la localización de la mina.



Figura 2. Robot Buscaminas del Instituto Johns Hopkins.



A nivel local, se conoce que la Universidad Javeriana (sede Bogota) ha desarrollado un robot móvil con la habilidad de detectar minas pero del cual no se tiene mucha información.

### 3. GENERACION DE CONCEPTOS

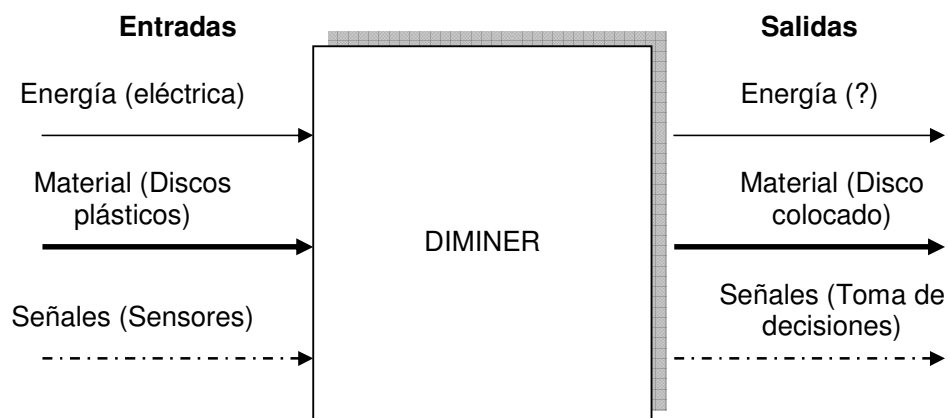
En esta fase de diseño se descompone el problema en las funciones más relevantes con el fin de obtener una mejor visualización y comprensión. Gracias a esta descomposición por funciones se logró identificar cuales eran los puntos críticos al realizar búsquedas internas y externas, como por ejemplo, la observación de concursos anteriores; también se tuvieron en cuenta el aporte de ideas del grupo de desarrollo.

#### 3.1 DESCOMPOSICIÓN FUNCIONAL

En esta etapa se confronta el problema como un todo sin tener en cuenta el funcionamiento interno del robot, lo cual se conoce comúnmente con un diagrama de caja negra, en el cual solo se tratan el flujo de entradas al sistema y las salidas que este generará, brindando así un conocimiento más dimensionado del problema que se enfrenta y posteriormente poder analizar internamente el sistema por medio de la descomposición funcional.

##### 3.1.1 Diagrama de caja negra.

Figura 3. Diagrama de caja negra.

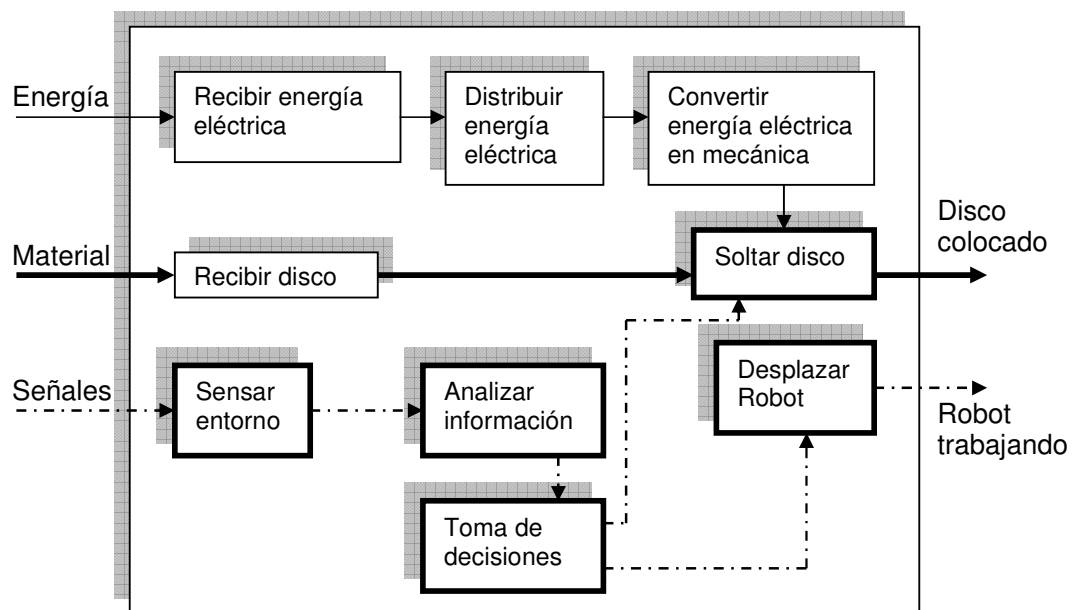


En esta descomposición funcional lo que se ve es internamente el funcionamiento del sistema por subfunciones de manera que cumpla satisfactoriamente las tareas para las cuales se diseña el robot, sin especificar de qué manera lo va hacer, ya que esto limitaría el proceso de diseño a una sola decisión en particular, lo cual no es conveniente.

Siguiendo con este orden de ideas, se realizó una descomposición de las tareas que se deben ejecutar y la relación entre las mismas para que todas lleguen al destino final, y desde ahí tomar como punto de inicio para realizar la generación de conceptos de cada una de las subfunciones de la mejor manera posible.

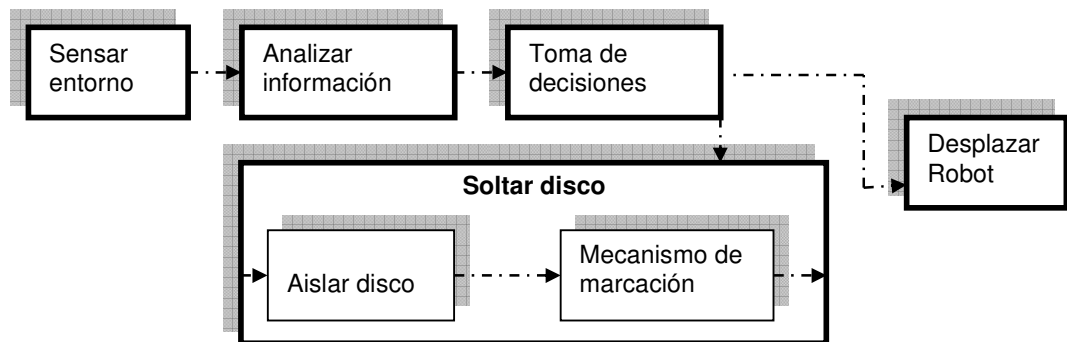
### 3.1.2 Refinamiento en bloques de subfunciones.

Figura 4. Descomposición funcional.



### 3.1.3 Rama crítica y desglose de subfunción.

Figura 5. Rama crítica de las subfunciones.



## 3.2 GENERACION DE CONCEPTOS PARA SUBFUNCIONES

Para realizar el diseño se han generado conceptos para cada una de las subfunciones de la descomposición funcional, pero solo justificaremos los de la rama crítica y el sistema para soltar el disco, ya que son los más relevantes.

**3.2.1 Sensar entorno.** Esta subfunción es de vital importancia para el robot, ya que es la que desempeña los sentidos para los seres vivos, es decir, es la que le permite al robot saber que lo rodea, que hay en su entorno para posteriormente tomar una decisión y saber como comportarse. Para ello se tuvieron en consideración los siguientes sensores:

- Sensores ultrasónicos
- Sensores infrarrojos
- Sensores de contacto
- Sensores de metales
- Brújulas digitales

**3.2.2 Analizar información.** Esta subfunción es la encargada de recibir la información captada por los sensores y modificarla a un formato el cual el sistema de control central pueda procesarla. Para ello se propusieron las siguientes alternativas:

- Microcontrolador para linealizar las señales por software (si es necesario) provenientes de los sensores y transformar la información en el formato adecuado.
- Circuitos acondicionadores de señal.

**3.2.3 Toma de decisiones.** Esta subfunción es en realidad el cerebro del robot, ya que es la encargada de recibir toda la información recibida de los sensores y manipular dicha información para brindarle la inteligencia necesaria al dispositivo para que cumpla con las necesidades esperadas como lo son la autonomía, la exploración y detección de las minas; por tal motivo esta tarea debe ser desempeñada por un microcontrolador, sin embargo esto conlleva a preguntarse ¿Qué familia de microcontroladores es la más apropiada para ejercer esta función?. En respuesta a ello se consideraron las siguientes familias:

- Atmel 89C5XX de Intel
- PIC 16F8XX de Microchip
- BX – 01/24/35 de BasicX

**3.3.4 Soltar disco.** Esta subfunción es muy importante, ya que es la encargada de brindar la ubicación de la mina dentro de un terreno determinado, por tal motivo su funcionamiento debe separarse en dos partes.

La primera de ellas nos lleva a analizar como será el sistema de aislamiento del disco que recibirá el dispensador, esto se trata principalmente pensando en el hecho de que a la hora de realizar una marcación se debe garantizar la

ubicación de solo una ficha con el fin de ahorrar material y no generar desperdicios.

En segunda instancia, se tiene en cuenta cual es el mecanismo que actuará para colocar el disco en la posición indicada.

Para esto se diseñó un dispensador de disco y se tuvieron en cuenta tres (3) formas:

- Dispensador con servomotor
- Dispensador con cremallera
- Dispensador con solenoide

Figura 6. Detalle concepto con servomotor.

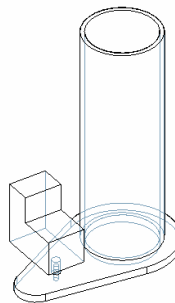


Figura 7. Detalle concepto con solenoide.

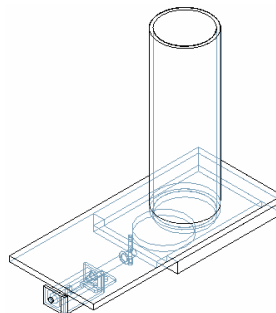
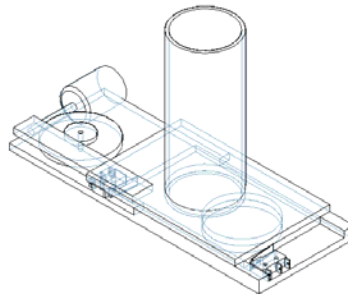


Figura 8. Detalle concepto con cremallera.



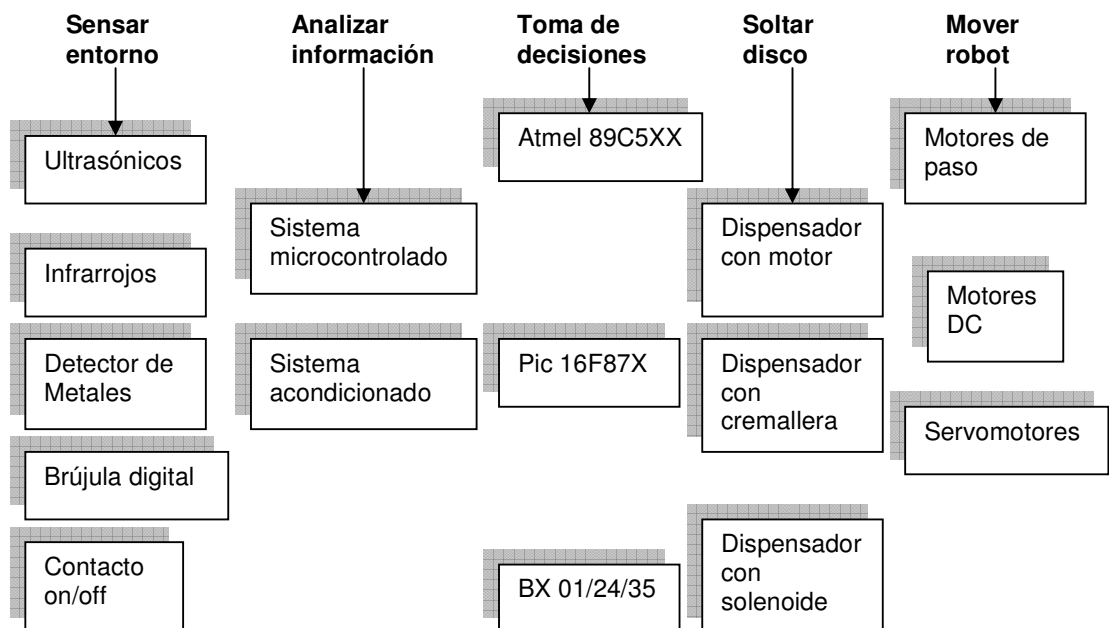
**3.2.5 Desplazar robot.** Esta subfunción consiste básicamente en determinar la manera en como hacer desplazar el robot, lo que se resume simplemente en escoger que tipo de actuadores y drivers se van a utilizar. Se tuvieron en consideración los siguientes:

- Motores DC
- Servomotores
- Motores de paso

Cabe resaltar que el tipo de actuador que se escoja será determinante en la estructura del robot y la locomoción que este maneje.

### 3.3 COMBINACIÓN DE CONCEPTOS

Con el objetivo de llegar a la mejor solución para cada uno de los problemas y que el robot responda a cada una de las necesidades y métricas expuestas en los anteriores epígrafes, se continuó desarrollando la metodología de diseño concurrente y realizar una tabla de combinación de conceptos, la cuál nos permitirá observar de una manera sistemática los conceptos generados y así mismo evaluar las diferentes posibilidades que se puedan generar, no como soluciones individuales y aisladas, sino juntas e interactuando hacia un mismo objetivo.



### 3.3.1 Concepto A.

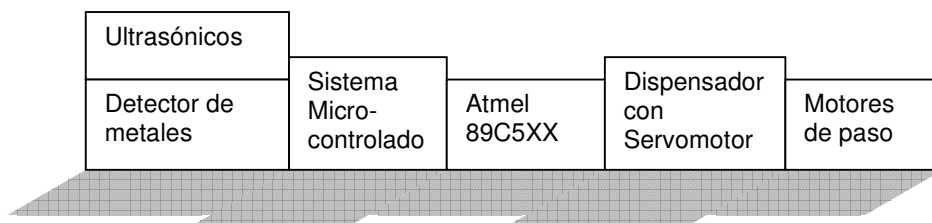
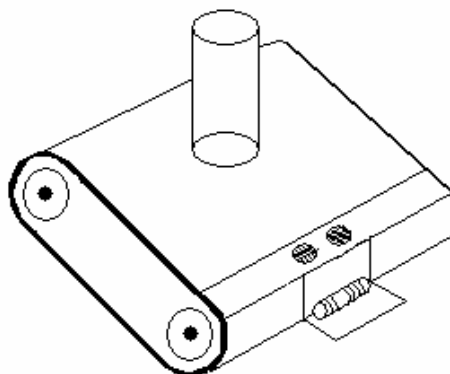


Figura 9. Concepto A.



Sistema mecánico constituido por ruedas tipo oruga con motores a paso en cada una de sus 4 ruedas, lo cual no brinda mucha facilidad a la hora de realizar un giro por su estructura mecánica. Sin embargo, el tener control de las ruedas por medio de motores a paso permite un control preciso y sencillo sobre sus ruedas, pero cuenta con la deficiencia de



sus torques, velocidad y costo. El sensor es muy efectivo en la detección de obstáculos aunque este puede confundirse con la cercanía o la dimensión de un objeto dependiendo del radio sonoro. El sistema para soltar el disco es sencillo pero costoso.

### 3.3.2 Concepto B.

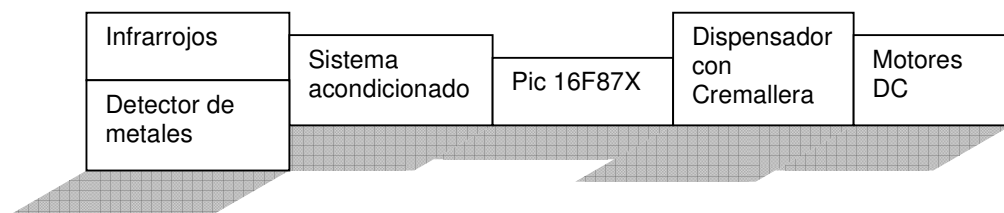
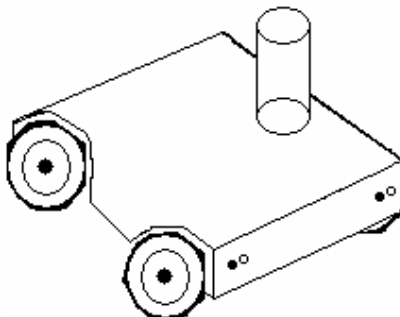


Figura 10. Concepto B



Sistema de construcción por 4 ruedas independientes controladas por motores DC lo cuál simplifica el trabajo de control brindando un mayor procesamiento a las otras actividades. El uso de sensores infrarrojos para detectar la proximidad es muy bueno y el contar con un sistema acondicionado para realizar la recepción de la información permite

al microcontrolador cerebro desempeñar eficazmente las tareas de control. El mecanismo de marcación es sencillo, eficaz y económico.

### 3.3.3 Concepto C.

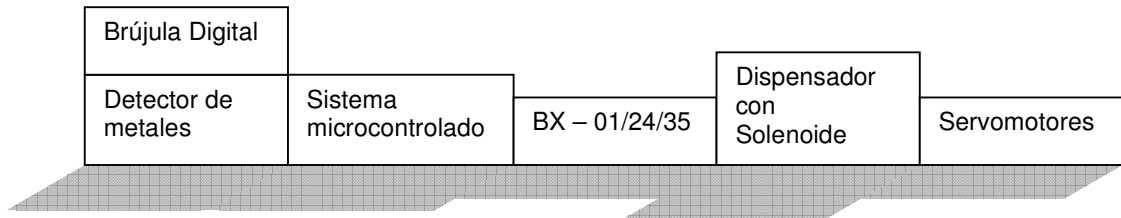
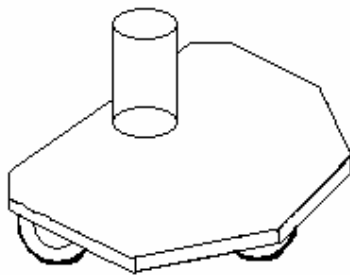


Figura 11. Concepto C



Sistema mecánico conformado por 3 ruedas una de ellas loca, totalmente controlado por servomotores lo cual hace que la capacidad de procesamiento sea demasiado alta, además presenta susceptibilidad en terrenos adversos. El procesamiento se realiza por medio de un microcontrolador BX – 01/24 el cual es programado desde Basic y lo hace muy sencillo. Cuenta con un sistema de orientación guiado por brújula. El sistema de marcación es eficaz y relativamente económico.

### 3.3.4 Concepto D.

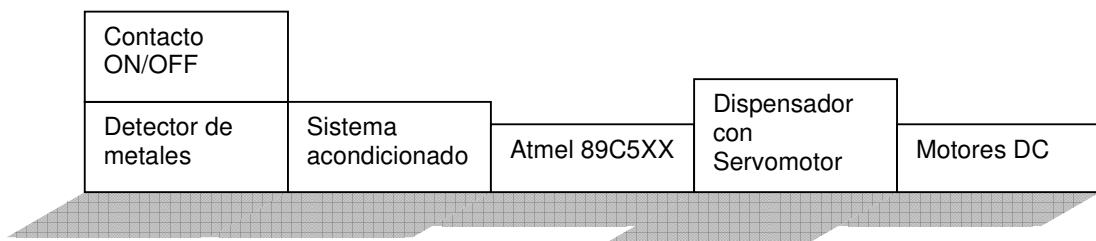
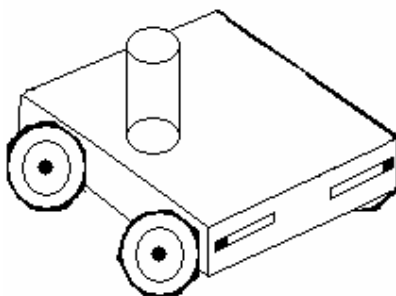


Figura 12. Concepto D



Sistema construido soportado por 4 ruedas controladas por 2 motores DC, utiliza sensores de contacto ON/OFF que aunque son muy económicos, sencillos y no ocupan mucho espacio su detección de obstáculos es muy próxima al objeto y es preferible que no haya ningún tipo de contacto entre los objetos y el robot. El sistema de marcación es

apropiado pero no es económico.

### 3.3.5 Concepto E.

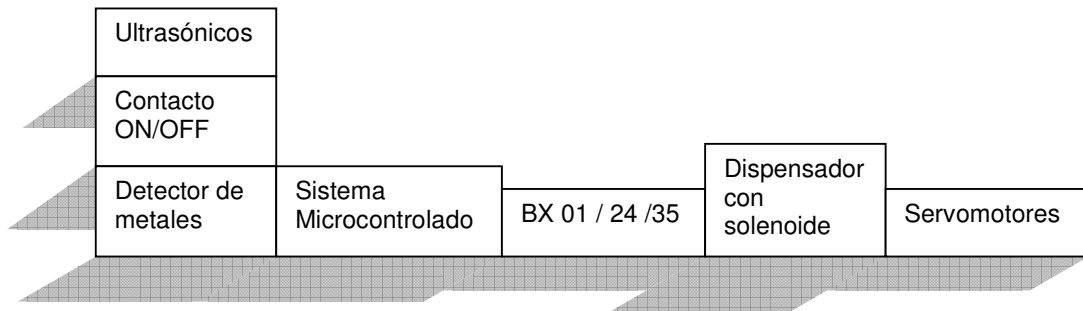
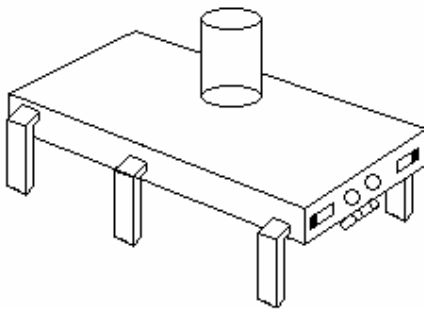


Figura 13. Concepto E



Sistema de construcción complejo debido a que maneja una reptación de tipo insecto (6 patas) controladas cada una de ellas por medio de servomotores. Utiliza sensores ultrasónicos y de contacto ON/OFF para la detección de obstáculos lo cual lo hace efectivo en tanto el cono sonoro del ultrasónico no sea interrumpido por objetos,

sin embargo la adecuación de contactos ON/OFF no es muy recomendada, debido a que estos reaccionan al tener un tipo de contacto físico y es mejor evitarlo. El sistema de marcación es preciso pero no es de fácil obtención.

## 4. SELECCIÓN DE CONCEPTOS

En la fase de selección de conceptos se analizan las diferentes posibilidades de diseño y se califican bajo los mismos criterios, a través de una matriz de tamizaje posteriormente con una de evaluación y definir así cual de las posibilidades cuenta con las mejores condiciones y criterios para finalmente adoptar el diseño a desarrollar.

### 4.1 MATRIZ DE TAMIZAJE

Tabla 3. Matriz de tamizaje.

Criterios de selección	Concepto				
	A	B	C	D (Ref)	E
Robot todoterreno	0	0	-	0	+
Precisión en la marcación	0	0	0	0	0
Evasión de obstáculos	+	+	-	0	+
Bajo consumo	-	0	0	0	-
Fácil mantenimiento	-	0	0	0	-
Disponibilidad de componentes	0	0	-	0	0
Positivos	1	1	0	0	2
Iguals	3	4	3	6	2
Negativos	2	0	3	0	2
Total	-1	1	-3	0	0
Orden	4	1	5	3	2
¿Continua?	No	Si	No	No	Si

Esta matriz es utilizada como un filtro para continuar con aquellos conceptos que son los más apropiados para seguir con el proceso de diseño. Esta decisión es tomada al comparar cada uno de los conceptos con una referencia

(Concepto D) y asignándoles una calificación de, igual que (0), mejor que (+) y peor que (-).

#### **4.2 EXPLORACIÓN Y PERFECCIONAMIENTO DE CONCEPTOS.**

De los conceptos que fueron descartados se tomaron ciertas especificaciones para mejorar los que continuaron y poder tomar una mejor decisión que cumpla con las necesidades solicitadas por medio de la siguiente matriz de evaluación.

De tal manera, al concepto B se le adaptará un servomotor para el control de la dirección, se le implementará la brújula como sistema de orientación y se complementará la detección de obstáculos con sensores ultrasónicos, uno de ellos manipulado por un servomotor.

En cuanto al concepto E, se le incorpora el uso de la brújula como sistema de orientación.

#### **4.3 ASIGNACIÓN DE PONDERACIONES**

Para poder realizar la matriz de evaluación se necesitan asignar unas ponderaciones a los criterios seleccionados para realizar la evaluación de los conceptos que continuaron con el proceso de diseño. Para escoger correctamente estos porcentajes se realizó una tabla en donde se enfrentan uno a uno los criterios seleccionados y así saber cual de los criterios seleccionados es de mayor importancia para el grupo de desarrollo.

$$\#Combinaciones = \frac{N(N-1)}{2}$$
$$\#Combinaciones = 15$$

Tabla 4. Tabla de ponderación.

Criterios de selección	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Suma	Ponderación
1	1	0	0	1	1											3	20%
2	0					0	1	1	1							3	20%
3		1				1				1	1	1				5	33.33%
4			1				0			0			1	0		2	13.33%
5				0				0			0		0		1	1	6.67%
6					0				0			0		1	0	1	6.67%
<b>Total</b>																15	100%

#### 4.4 MATRIZ DE EVALUACIÓN

El objetivo de esta matriz es evaluar los conceptos en base a una referencia asignándoles una calificación a los criterios más relevantes del producto.

Tabla 5. Matriz de evaluación.

Criterio de selección	Ponderación (%)	Concepto					
		B+		E+		D (Ref.)	
		Nota	%	Nota	%	Nota	%
Robot todoterreno	20	3	0.6	4	0.8	3	0.6
Precisión en la marcación	20	3	0.6	3	0.6	3	0.6
Evasión de obstáculos	33.33	5	1.67	3	1	3	1
Bajo consumo	13.33	3	0.4	2	0.27	3	0.4
Fácil mantenimiento	6.67	4	0.27	1	0.0667	3	0.2

Disponibilidad de componentes	6.67	3	0.2	2	0.1334	3	0.2
Total		3.74		2.87			
Orden		1					
¿Continúa?		<b>Desarrollar</b>		No			

Finalmente, se pudo observar que el concepto con la mayor calificación es el indicado a desarrollar, el cual se puede refinar con las posteriores etapas del diseño.

#### 4.5 ESPECIFICACIONES FINALES

Luego de haber seleccionado el concepto más apropiado y haber refinado su diseño, se revisaron las especificaciones técnicas en base a esté y se adoptaron nuevos valores, llevando así a las especificaciones finales:

Tabla 6. Especificaciones finales.

# Métrica	# Necesidad	Métrica	Imp.	Unidades	Valor
1	1,3	Presición	5	%	95
2	2,8	Autonomía	5	Min.	25
3	4	Brújula	4	Grados	0.1
4	5	Dispensador	4	Lista	1
5	6	Inteligencia	4	Subjetiva	4.5
6	7	Evasión	5	%	90
7	9	Mantenimiento	3	Subjetiva	4
8	10	Costo de elementos	4	\$	1'200.000

## 5. DESARROLLO DE LA ARQUITECTURA DEL PRODUCTO

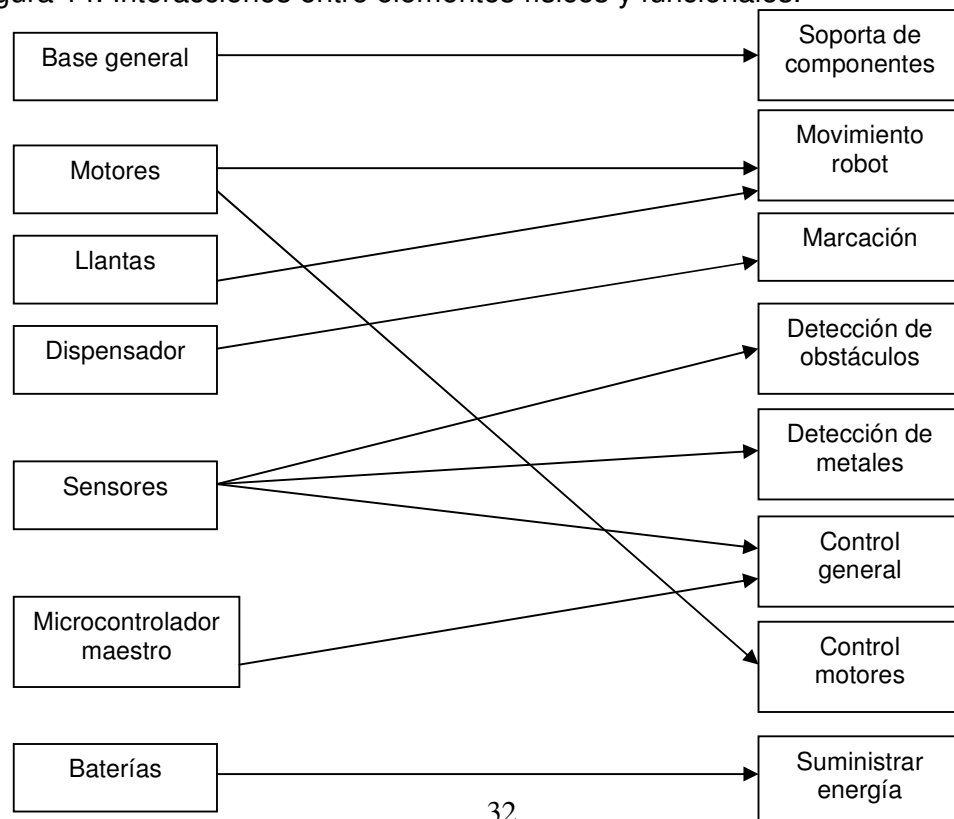
### 5.1 ANÁLISIS DE LA ARQUITECTURA DEL PRODUCTO

Dado el caso de que un robot móvil es una herramienta muy flexible con la capacidad de adaptarse a diferentes condiciones y ambientes, es pertinente valorar una arquitectura modular. De esta manera, se aprovechan las ventajas que ofrece este tipo de arquitectura para futuros arreglos o aplicaciones que no dan lugar en nuestro estudio.

Teniendo en cuenta lo anterior se optó por implementar una arquitectura modular, sin embargo se trató de integrar, en lo posible, la mayor cantidad de piezas para lograr una estructura compacta que cumpla con las especificaciones dadas.

### 5.2 INTERACCIONES ENTRE ELEMENTOS FÍSICOS Y FUNCIONALES

Figura 14. Interacciones entre elementos físicos y funcionales.



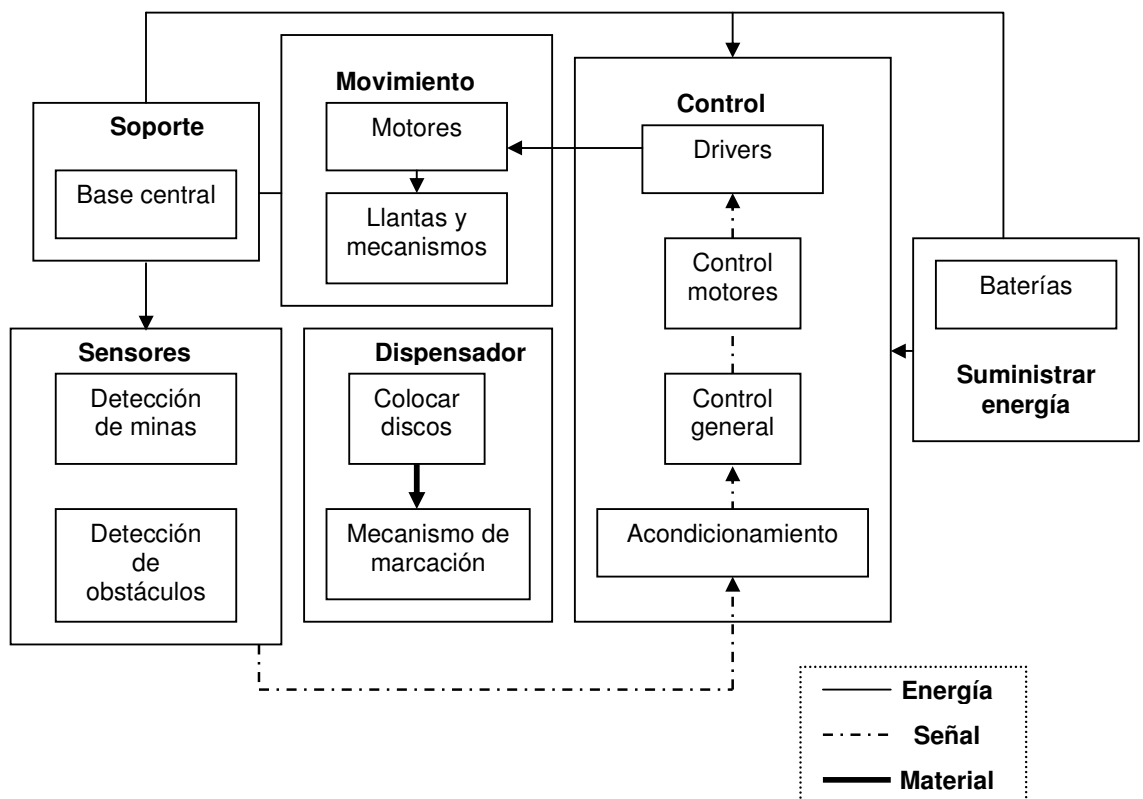


La interacción entre los elementos físicos y funcionales no muestra en su totalidad una arquitectura modular, sin embargo muestra relaciones entre algunos elementos que podrían agruparse para conformar un modulo. Además, se puede apreciar claramente como ciertos elementos se deben relacionar entre sí para cumplir una función como lo es el caso de las llantas y los motores que juntos generan el movimiento del robot, o el de los microcontroladores y los sensores para poder ejercer un control sobre el robot.

### 5.3 ESQUEMA DEL PRODUCTO

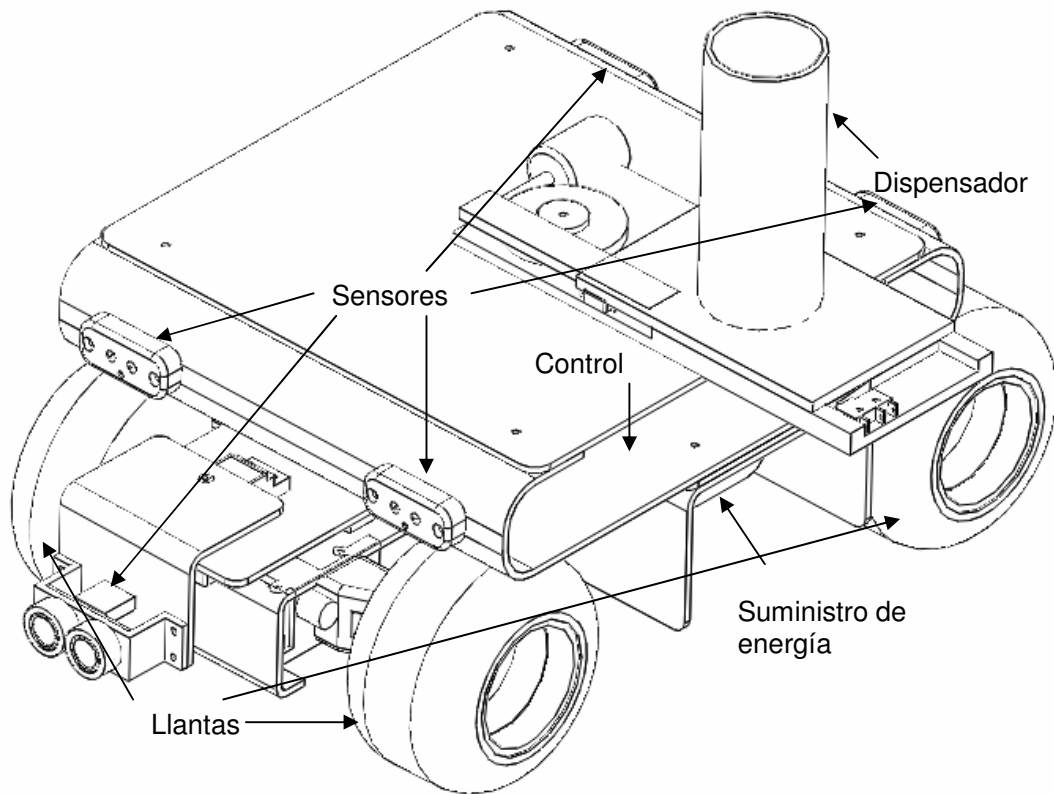
En esta sección se presenta un esquema general del producto donde se observan los diferentes módulos que lo componen a través de sus funciones.

Figura 15. Esquema general del producto por bloques funcionales (Chunks).



## 5.4 DISTRIBUCIÓN GEOMÉTRICA

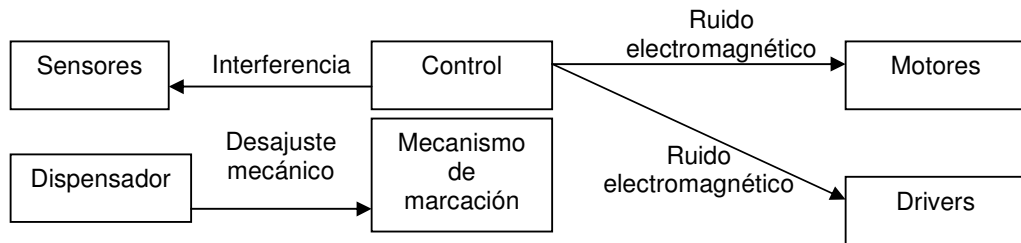
Figura 16. Distribución espacial de los Chunks.



## 5.5 IDENTIFICACIÓN DE INTERACCIONES FUNDAMENTALES E INCIDENTALES

En esta etapa se muestran las posibles interacciones que no fueron planificadas, ni previstas, y las cuales pueden producir efectos negativos al comportamiento del sistema.

Figura 17. Interacciones incidentales.



## 5.6 ARQUITECTURA A DIFERENTES NIVELES

Tal como se había mencionado anteriormente la arquitectura a nivel del sistema es predominada modularmente, pero a nivel de subsistemas posee una arquitectura integral, ya que para lograr el buen funcionamiento y el cumplimiento de las especificaciones dadas del sistema se debió compactar en lo posible la mayor cantidad de elementos de cada subfunción.

## 5.7 ARQUITECTURA DEL SISTEMA ELECTRÓNICO

Para determinar el sistema electrónico se concibió la idea de desarrollar un módulo de control compacto sin la necesidad de tener muchas conexiones externas que permitan garantizar el buen funcionamiento y preparación del mismo, asegurando así que las conexiones sean correctas.

Teniendo en cuenta esta información, se optó por implementar una arquitectura integral optimizando el espacio y facilitando la conexión con los periféricos (servomotores, motores, sensores, etc.).

## **6 DISEÑO INDUSTRIAL**

### **6.1 VALORACIÓN DEL DISEÑO INDUSTRIAL**

Con el afán de construir un robot que tenga gran impacto visual y funcional al usuario del mismo así como también a todo miembro de la comunidad que tenga contacto con el dispositivo móvil, se realizó una valoración del diseño industrial para aplicar algunos conceptos con la intención de mejorar el producto.

Basándonos en la metodología expuesta por Ulrich<sup>1</sup>, la manera más apropiada de realizar una valoración industrial es haciendo un análisis de las necesidades ergonómicas, con las que tiene contacto directo el usuario, y las necesidades estéticas, las cuales hacen referencia al impacto visual que tenga el producto.

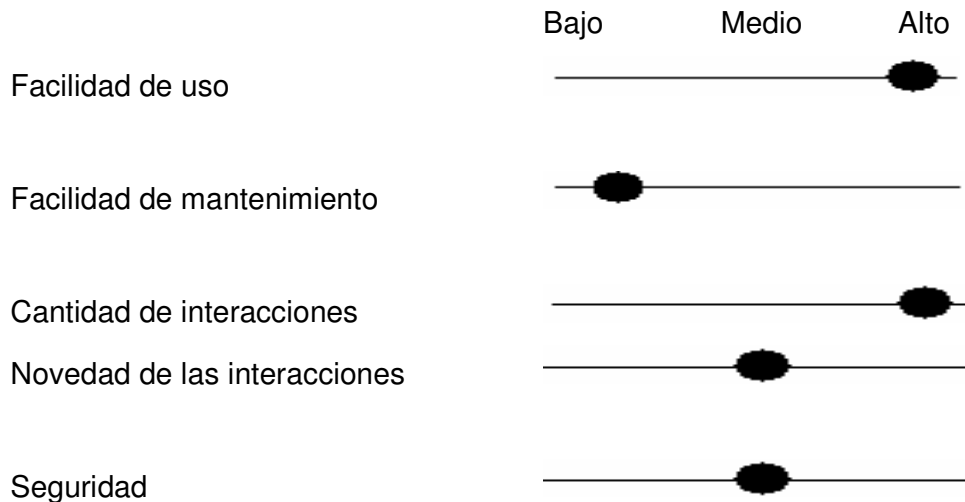
Estos tópicos para realizar la valoración son de suma importancia pues resaltan la facilidad de uso, la calidad de las interfases con el usuario, la seguridad, la apariencia física entre otras, y brindan un gran valor agregado al producto para el usuario final.

---

<sup>1</sup> ULRICH, Kart T.; EPPINGER, Steven D. Diseño y desarrollo de productos – Enfoque multidisciplinario. 3 ed. México: McGraw-Hill, 2004. Capítulo 10: Diseño industrial., p 191-194.

### 6.1.1. Necesidades ergonómicas.

Figura 18. Necesidades ergonómicas.

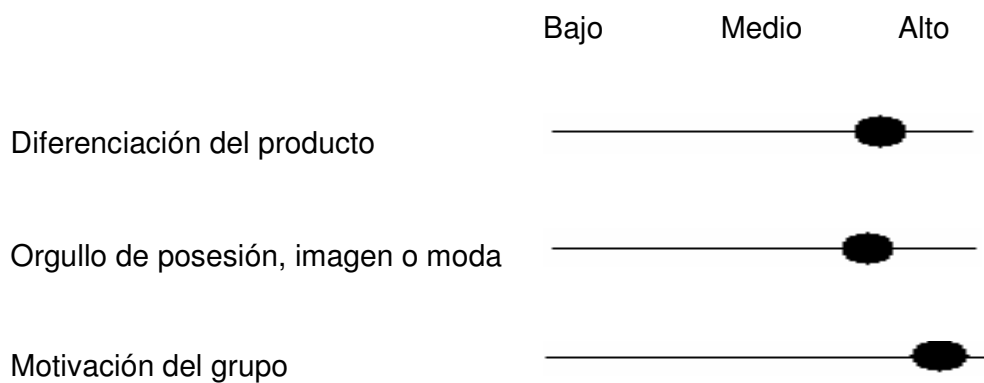


La facilidad de uso y la cantidad de interacciones del producto tiene una alta importancia, ya que de la manera como esta pensado el robot es manejable y no requiere de muchos conocimientos por parte del usuario para ponerlo en funcionamiento. En cuanto al mantenimiento, hay que tener en consideración que este presenta una alta complejidad por lo que se encuentra fuera del alcance del usuario sin conocimientos técnicos, sin embargo hay ciertas tareas, como el cambio de las baterías, que están al alcance de este.

Por otro lado, aunque el robot esta diseñado para un fin común y se debe encontrar fuera del alcance de las personas poco calificadas, se han tenido las mínimas condiciones de seguridad como la eliminación de bordes corto punzantes y los aislamientos eléctricos necesarios. En relación a la novedad de las interacciones, por el hecho de ser un producto que no tiene mucha competencia se estima que tiene un buen impacto.

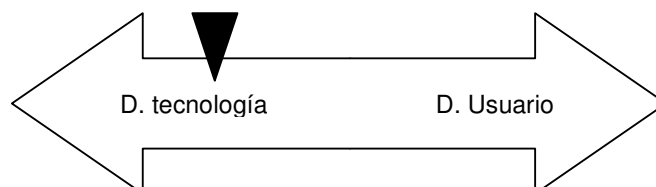
**6.1.2 Necesidades estéticas.** Para lograr una buena motivación del grupo de trabajo, era necesario contar con un producto de gran impacto visual, a pesar de que criterios como el orgullo de posesión, imagen y moda no son muy relevantes, debido al hecho de que el producto es pensado más con fines investigativos que de comercialización .

Figura 19. Necesidades estéticas.



Todo esto, nos lleva a definir que tipo de producto es el que se esta desarrollando, si se encuentra dominado por la tecnología o por el usuario en términos de las interacciones con el usuario final. Por ello, aunque el producto esta diseñado para el uso y bien del hombre, es un sistema que tiene funcionalidad en ambientes especiales y para desarrollar una tarea específica, por lo tanto es un producto más orientado hacia la tecnología.

Figura 20. Clasificación del producto.



## **6.2 IMPACTO DEL DISEÑO INDUSTRIAL**

Las consideraciones para este diseño industrial se ven principalmente reflejadas en los siguientes criterios, y tienen que ver con la relación del dispositivo con una persona como usuario.

**6.2.1 Interfaces del usuario.** El robot móvil posee un interruptor de encendido que controla todas las funciones del mismo (motores, sistema de control, etc.) y así mismo como inicia el funcionamiento del dispositivo también lo detiene. Además, tiene un botón de reset, el cual reinicia todas las funciones de la plataforma y vuelve a ejecutar toda la programación realizada en el modulo de control.

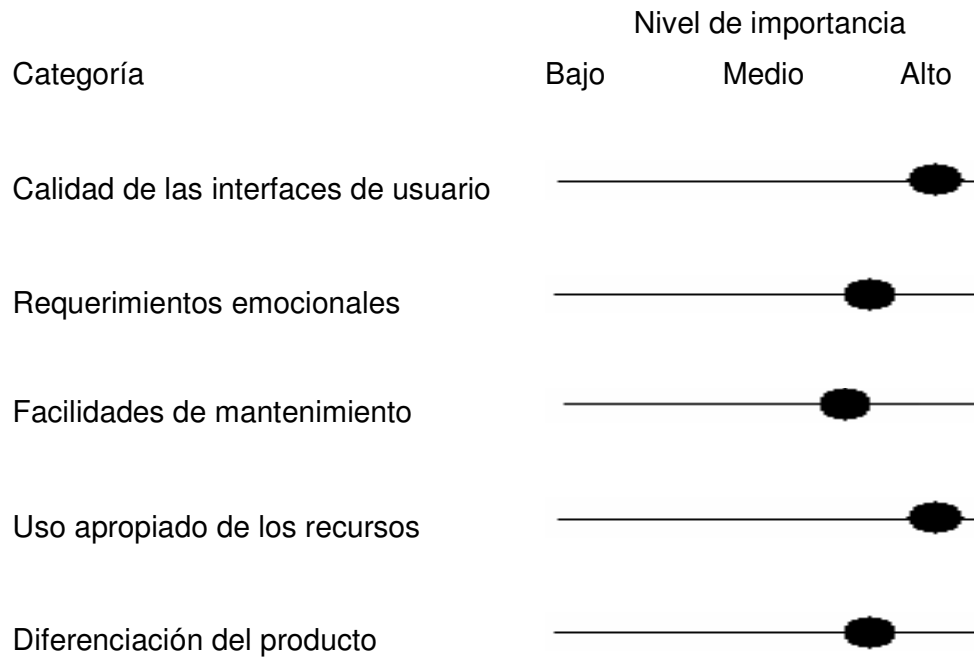
**6.2.2 Facilidades de mantenimiento y reparación.** La ubicación de las baterías están sostenidas por medio de pajas plásticas las cuales son fáciles de cambiar en caso de que estas se descarguen y necesiten ser recargadas o cambiadas por unas de repuesto.

**6.2.3 Uso apropiado de los recursos.** Los materiales usados para la construcción del robot son apropiados en términos económicos ya que brindan una buena calidad y apariencia haciendo que todas sus características sean necesarias. En ese orden de ideas, solo se utilizó un tipo de acrílico lo cual indica un aprovechamiento del material.

**6.2.4 Diferenciación del producto.** El producto se distingue fácilmente, ya que su diseño es llamativo y muy particular en relación a otras estructuras.

### 6.3 EVALUACIÓN DE CALIDAD DEL DISEÑO INDUSTRIAL

Figura 21. Evaluación de calidad del diseño industrial





## 7. DISEÑO PARA MANUFACTURA Y ENSAMBLE

### 7.1 ANÁLISIS DEL DISEÑO PARA MANUFACTURA (DPM)

Pensando en el DPM se integraron diferentes partes para que estas cumplieran varias funciones, como por ejemplo, la base del robot quien sostiene todos los componentes y elementos del dispositivo.

En relación al sistema electrónico se valoró la implementación modular aprovechando el espacio disponible y ubicando estratégicamente los sensores, aumentando así la confiabilidad en la actividad de estos. Con respecto al material, se seleccionó el acrílico para desarrollar en su mayoría las piezas que conforman la estructura, debido a sus características, como la baja complejidad de su maquinado, fácil adquisición en el mercado y sobre todo por su costo.

#### 7.1.1 Lista de componentes.

Tabla 7. Lista general de componentes.

Componente	Cantidad	Costo estimado unitario (\$)	Estándar
Acrílico Transp. Maquinado	1	340.000	No
Acrílico Transp. 23x25,5 cm.	1	12.000	Si
Sensor Infrarrojo	4	19.000	No
Sensor Ultrasónico	2	66.185	Si
Detector de metales	1	36.000	Si
Brújula digital	1	137.135	Si
Servomotor Hitech	1	52.387	Si
Servomotor Parallax	1	50.000	Si
Baterías	2	40.000	Si
Drivers	1	88.000	Si

Disipador	1	1.500	Si
Tornillos de sujeción con tuerca	62	150	Si
Dispensador	1	2.000	Si
Pic 16F874	1	20.000	Si
Interruptor	1	1.000	Si
LM 339	1	2.000	Si
Base integrado 14 pines	1	1.000	Si
Base Micro 40 pines	1	2.000	Si
Condensador 15pF	2	80	Si
Conector de alimentación	2	1.000	Si
Cristal 4MHz	1	4.500	Si
Borneras de 2 pines	11	500	Si
Borneras de 3 pines	8	600	Si

**7.1.2 Impacto del DPM sobre otros factores.** Consideramos que alrededor de un 25% del tiempo de desarrollo del robot se invirtió en el diseño para manufactura, ya que se necesito analizar detenidamente como debía realizarse las piezas para que cumplieran con las necesidades exigidas. De igual manera, la selección del adecuado proceso de manufactura aumento la calidad de las piezas tanto individualmente como en un todo.

Se analizaron los aspectos de manufactura en consecuencia a las limitantes de disponibilidad de equipos y maquinaria desarrollando así las piezas menos complejas en geometría y funcionamiento; en ese mismo orden de ideas se trató de utilizar elementos de fácil consecución en el mercado para realizar mecanismos, como lo es el caso de la transmisión en el tren delantero del robot, este tipo de elementos se escogieron por su disponibilidad durante la realización del prototipo y cuentan con un buen costo.

## 7.2 ANÁLISIS DEL DISEÑO PARA ENSAMBLE (DPE)

En esta etapa del diseño se busca conseguir una reducción de costos a través del ensamble para facilitar el proceso y mejorar el mismo. Continuando con la metodología utilizada de diseño de productos y con la intención de realizar un análisis completo sobre el tema se tendrán en cuenta las siguientes variables.

**7.2.1 Reducción de costos de ensamble.** Tiempo estimado para el ensamble: 15 minutos.

$$\begin{aligned} \text{IndiceDPE} &= \frac{\#Partes \text{ min} * 3s}{\text{Tiempo}_{\text{estimado}}_{\text{para}}_{\text{ensamble}}} \\ \text{IndiceDPE} &= \frac{70 * 3s}{15 * 60s} \\ \text{IndiceDPE} &= 0.233 \end{aligned}$$

Cuando se integran los componentes se logra ejercer un control en las tolerancias del proceso de manufactura más no en el de ensamble.

**7.2.2 Maximización de la facilidad del ensamble.** Lo que se busca es intentar de realizar la menor cantidad de acciones de ensamble posibles. Con este objetivo se diseño una placa que contiene todos los circuitos, la cuál se inserta de manera horizontal ya sea de izquierda a derecha o viceversa por una cavidad lateral que se encuentra en la estructura, haciéndola fácilmente removible para realizar algún tipo de ajuste que se requiera, esto también permite tener un fácil acceso al cambio de las baterías que se encuentran ubicadas debajo de la estructura sujetadas por pachas plásticas.

En cuanto a los sensores ultrasónicos se diseño una cavidad tanto en la parte delantera como trasera de la estructura con las medidas precisas para que estos ajusten firmemente; de igual manera se realizaron unos módulos para

cada uno de los 4 sensores infrarrojos facilitando el manejo modular de los mismos y disponiéndolos en cada uno de los extremos delanteros y traseros de la plataforma.

Se redujo la utilización de herramientas de ensamble estandarizando los tornillos de sujeción. Se valoró la arquitectura modular.

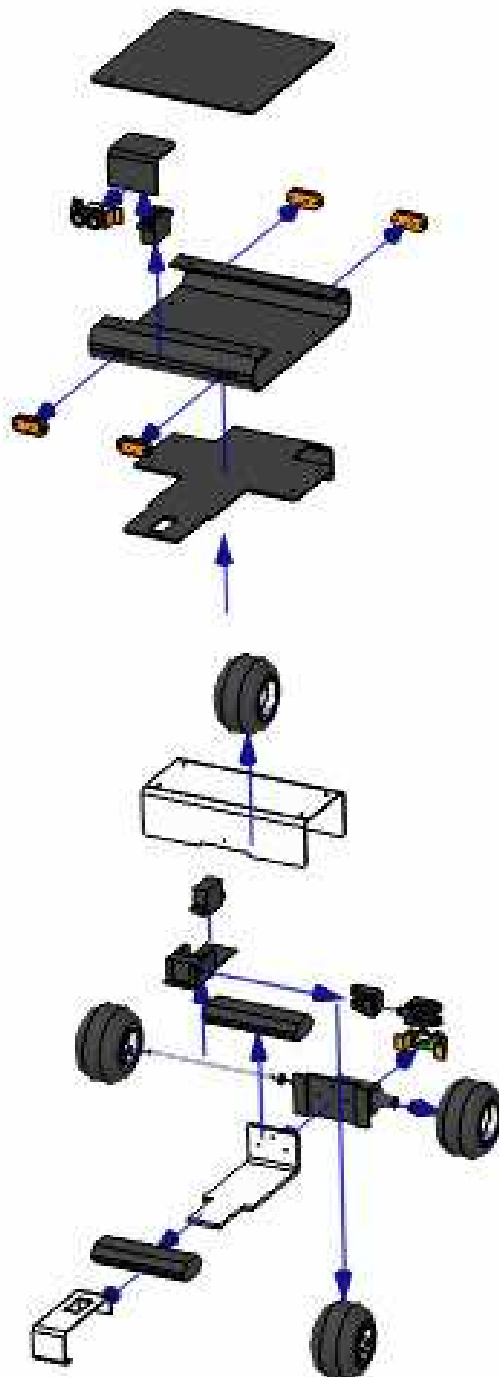
Las piezas que conforman la estructura son de fácil ensamble y apilables, otros elementos como los motores pueden almacenarse en espacios donde estos no sufran algún daño o se enreden con otros elementos tanto internos como los que se puedan encontrar en el exterior.

### **7.3 REDUCCIÓN DEL COSTO DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD**

Los huecos donde se ajustan diferentes componentes son simétricos evitando así que se instalen erróneamente. De igual manera, el posicionamiento del dispensador es de fácil ubicación debido a que su geometría es diferente a la de todos los componentes.

.

Figura 22. Esquema de ensamble general



## 8. PROTOTIPADO

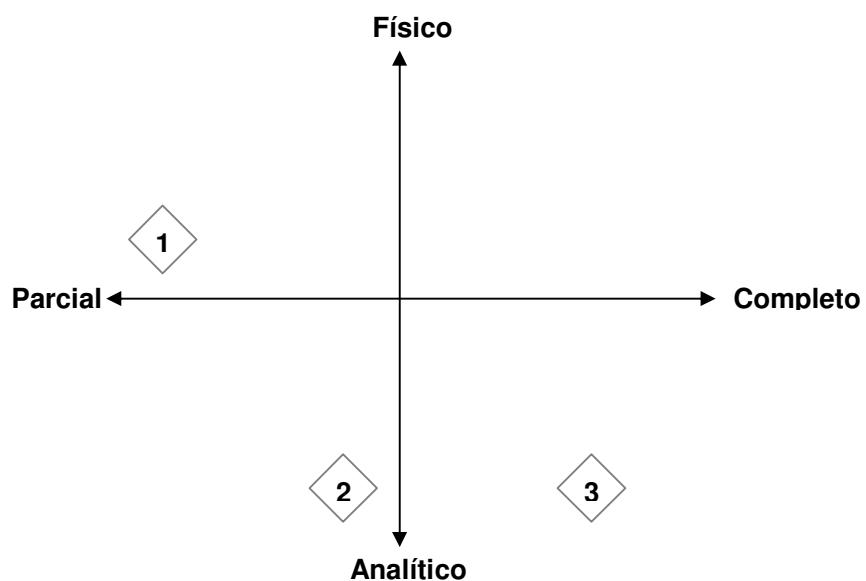
Durante el proceso de diseño se realizaron varios prototipos.

Prototipo 1: prototipos de diseño de los circuitos electrónicos montados en protoboard. Esto con el fin de probar el correcto funcionamiento de la electrónica que llevara el robot.

Prototipo 2: prototipos analíticos de los mecanismos y formas del robot usando herramientas CAD, esto para determinar las dimensiones del robot y las tolerancias permisibles en el producto.

Prototipo 3: prototipo analítico del algoritmo de control que guiará al robot, para ello se usaron herramientas computacionales como Mplab trazando el objetivo de obtener una verificación de que el algoritmo propuesto realmente sea funcional y analizar las secuelas a posibles eventos, pero que realmente no se pueden determinar en una prueba de escritorio.

Figura 23. Representación de los prototipos.



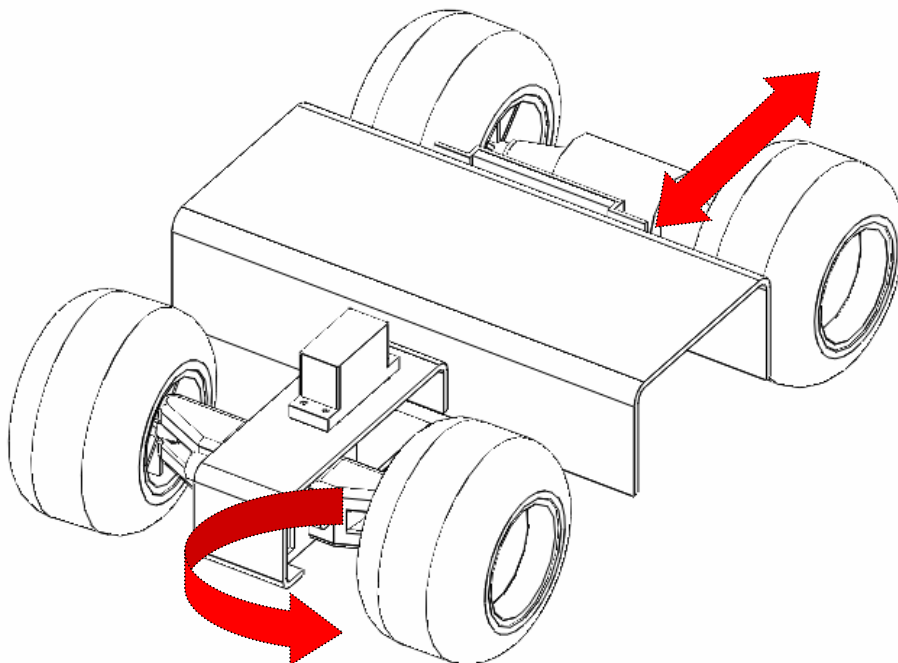
## 9. DISEÑO DETALLADO

### 9.1 DISEÑO MECÁNICO DE LA ESTRUCTURA Y LOS MECANISMOS

Basándonos en las premisas de la investigación y las necesidades identificadas se seleccionó un concepto de la estructura mecánica que llevará el robot y los mecanismos que permitirán el desplazamiento del mismo. El mecanismo de desplazamiento esta conformado básicamente por 2 partes, el tren delantero y trasero.

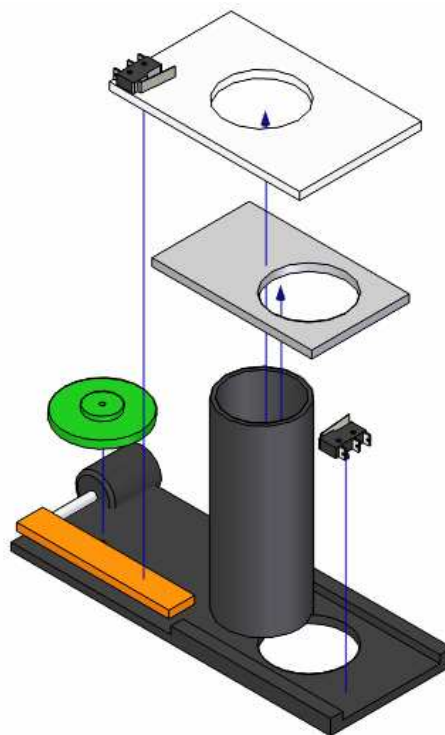
El tren trasero cuenta con un mismo eje para las 2 llantas y dentro del tren se encuentra incorporado el motor que le dará movimiento a éstas; por otro lado el tren delantero consiste en un mecanismo de transmisión por medio de varillas aceradas las cuales son controladas por un servomotor.

Figura 24. Explicación del desplazamiento del robot.



Ya que se ha explicado el movimiento del robot mecánicamente, se debe detallar el mecanismo de marcación que este tiene para lograr una identificación de la mina. Como ya sabemos con anterioridad esta tarea la realizará el dispensador, sin embargo es importante especificar claramente como esta compuesto este conjunto. El concepto seleccionado para efectuar esta tarea se realizó de una manera práctica y económica. La colocación del disco en el terreno minado se encuentra seccionada en tres (3) partes, en donde cada una de ellas posee un agujero correspondiente al diámetro del disco (4 cm), el actuador encargado de impulsar el disco aislado por medio de las secciones es un pequeño motor DC de 5V que desplaza una cremallera haciendo coincidir cada una de las 3 secciones y de esta manera logra soltar el disco, para la construcción de esta cremallera se utilizaron unos pequeños engranes que se tenían a disposición, para ejercer el control sobre este motor se utilizará un driver (*ver sistema eléctrico*).

Figura 25. Esquema del mecanismo de marcación.





## 9.2 SELECCIÓN DE MOTORES

Como se había mencionado con anterioridad los motores que se van utilizar son 1 motor DC y dos (2) servomotores, esto se debe a la conveniencia de contar con un motor DC incorporado dentro del tren trasero de la estructura mecánica que además cuenta con una caja de velocidades proporcionando una gran potencia y fuerza para el desplazamiento del robot. Por otro lado, la flexibilidad, potencia, control y fácil manejo de los servomotores por medio de un sistema microcontrolado para generar el PWM que garantice el buen funcionamiento del dispositivo lo cual es muy conveniente para la manipulación de la dirección de la plataforma y la clara identificación de proximidad delantera.

Al seleccionar la referencia del servomotor dispuesto para la dirección de la plataforma, se analizaron criterios como las dimensiones, que se pudiera ubicar de manera compacta en la estructura, que soportará alrededor de 1A de corriente, ya que este deberá desplazar la dirección del robot que se encuentra exigida debido a la carga que sostiene, por lo tanto se debe adquirir un dispositivo que realizará la tarea con suavidad y precisión. Por estas y otras razones se buscó exhaustivamente un servomotor que cumpliera con estas exigencias brindándonos seguridad y eficiencia a la hora de realizar su tarea, por ello se escogió un Hitech HS475HB quien además de cumplir los criterios que se buscaban nos brinda un valor agregado al ofrecernos una velocidad de respuesta al recorrer 60° en 0,18 seg.

Figura 26. Servomotor Hitec HS475HB.



Tabla 8. Especificaciones técnicas del servo Hitec HS475HB.

<b>Sistema de Control</b>	Control por Anchura de Pulso. 1,5 ms al centro
<b>Tensión de funcionamiento</b>	4,8V a 6 V
<b>Velocidad a 6V</b>	0,18 Seg /60 grados sin carga
<b>Fuerza a 6V</b>	5,5 Kg · cm
<b>Corriente en reposo</b>	7,7 mA
<b>Corriente en funcionamiento</b>	180 mA sin carga
<b>Corriente Máxima</b>	1100 mA
<b>Zona Neutra</b>	5 µsec
<b>Rango Trabajo</b>	1100 a 1900 µsec
<b>Dimensiones</b>	38,8 x 19,8 x 36 mm
<b>Peso</b>	40 g
<b>Rodamiento Principal</b>	Metálico
<b>Engranajes</b>	Karbonite
<b>Longitud del cable</b>	300 mm

Respecto al servomotor dispuesto para uno de los sensores ultrasónicos, que se dispondrá a verificar de manera clara la proximidad de objetos frente al robot, no hubo la necesidad de exigirse en la búsqueda de este dispositivo debido a que la carga que debe mover no es pesada. Por ello se seleccionó un servomotor Standard Parallax que me realiza la tarea de una manera suave y eficaz.

Figura 27. Servomotor Standard Parallax.



Tabla 9. Especificaciones técnicas del Servomotor Standard Parallax.

<b>Power</b>	6Vdc max
<b>Speed</b>	0 deg to 180 deg in 1.5 seconds on average
<b>Weight</b>	45.0 grams/1.59 Oz-in
<b>Torque</b>	3.40 kg-cm/47 oz-in
<b>Size mm (L x W x H)</b>	40.5 x 20.0 x 38.0
<b>Size in (L x W x H)</b>	1.60x.79x1.50

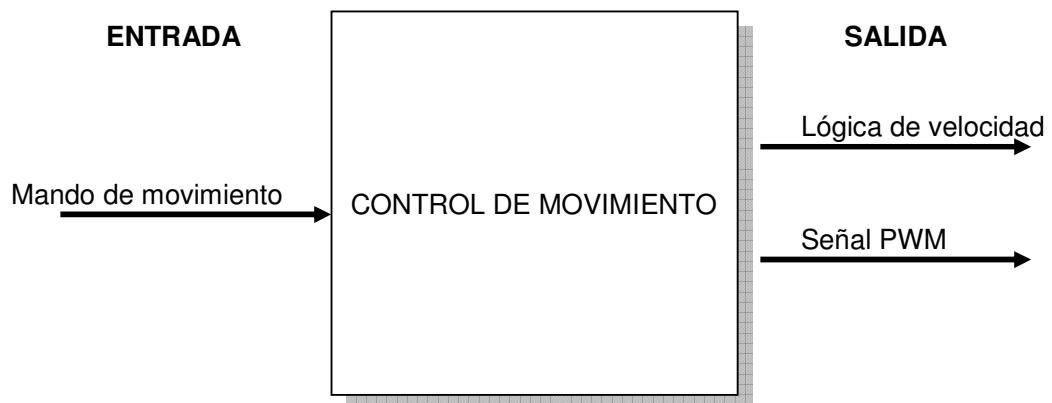
### 9.3 DESCRIPCIÓN DE LA ARQUITECTURA DE CONTROL Y DISEÑO HARDWARE SOFTWARE

El robot según las metas trazadas debe cumplir ciertas funciones para lograr desenvolverse en un ambiente minado; realizando un análisis previo se determinó que este debía contar con un nivel de inteligencia propia (autónomo), capacidad de medir variables del ambiente, tener la habilidad de detectar minas y realizar una identificación de la misma (disco).

Para especificar cada una de las tres (3) funciones principales del robot se hará un análisis de caja negra.

**9.3.1 Control de movimiento de las llantas.** Para lograr el movimiento en un robot móvil constituido por llantas en realidad no es muy complejo, en nuestro diseño se debe prestar especial atención al manejo de la dirección y la velocidad que se le proporcione al motor que genera el movimiento principal. Para realizar esta tarea se apoyó en un servomotor y un drive para el motor principal (LMD18201) respectivamente, por lo que simplemente se debe generar una señal PWM para ejercer el control sobre la dirección y realizar una serie de combinaciones lógicas para efectuar la velocidad del movimiento.

Figura 28. Caja negra para el control del movimiento.



Para mostrar como se debe realizar esta tarea de control se proyectará por medio de diagramas de bloques la rutina que se deberá ejecutar, para realizar el desplazamiento correspondiente. El movimiento del robot se puede dar básicamente de dos (2) maneras: hacia delante y hacia atrás.

Adicional a esta acción, el movimiento de la dirección en conjunto con la marcha hacia delante o atrás, me generará un desplazamiento hacia la izquierda o derecha en cualquiera sea la dirección.

Para realizar esta acción el controlador deberá ejecutar 2 acciones al mismo tiempo. La primera de ellas hace referencia a la recepción del mando de movimiento y actualización de los registros de control que se destinen para dicha tarea; la segunda se refiere a la generación del PWM, la cual es de vital importancia ya que es la más crítica por su velocidad y precisión.

**9.3.1.1 Implementación.** Para lograr la implementación del movimiento de las llantas es necesario generar la velocidad del motor que brinda el desplazamiento, este responde de la siguiente manera.

Tabla 10. Lógica del sentido del robot.

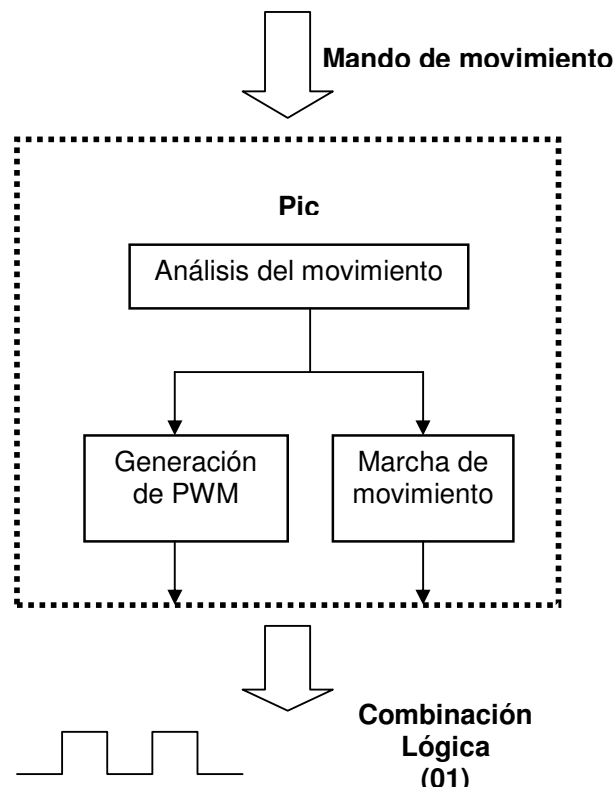
IN 1	IN 2	OUT
0	0	XXX
0	1	F
1	0	B
1	1	Brake

Donde:

- XXX= Estado actual
- F= Adelante
- B= Atrás
- Brake= Freno

Por otro lado, se debe generar un PWM para controlar la dirección de las llantas delanteras. Dicho control se proporcionará por medio del Pic 16F874 que cuenta con módulos PWM para su generación.

Figura 29. Esquema funcional del movimiento del robot.



**9.3.2 Control cerebro del robot.** El control cerebro del robot esta encargado de recibir toda la información del ambiente con fin de tomar decisiones para realizar la navegación del terreno en el cual se encuentre inmerso.

Para poder tomar estas decisiones, al robot se le adaptaron varios sensores. Con el objetivo de medir obstáculos, evadirlos y tomar un nuevo rumbo, se han instalado sensores de proximidad infrarrojos en los cuatro (4) extremos de la plataforma en un rango de 4 a 10 cm. que pueden ser modificables (*Ver sistema eléctrico*). Adicionalmente, se han incorporado un par de sensores

ultrasónicos que se encuentran ubicados en dos de los puntos cardinales (Norte y Sur) de la estructura física del robot. El rango que abarcan estos sensores viene definido por la línea de eco (un pulso) en donde la distancia del objeto es directamente proporcional al ancho del pulso; para activar estos sensores se necesita mínimo de un pulso de 10 $\mu$ s, si al cabo de 30ms no se detectará nada, la línea de eco bajará su nivel lógico. Este sensor se puede activar cada 50ms o 20 veces por segundo y deberá esperar 50ms para realizar la siguiente medición.

Figura 30. Esquema de ubicación de los sensores.

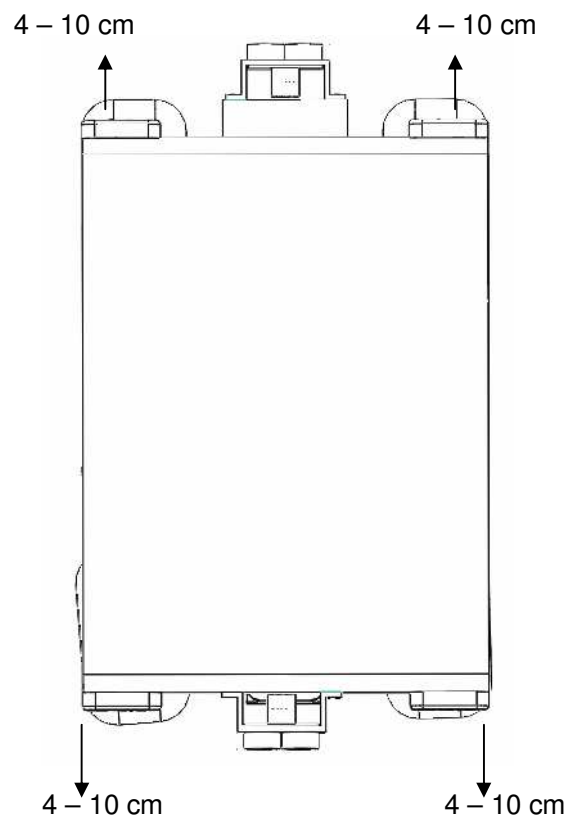
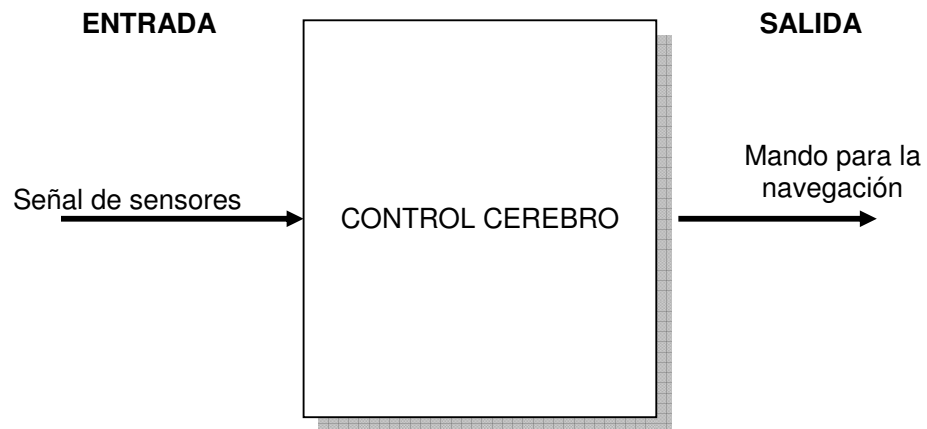


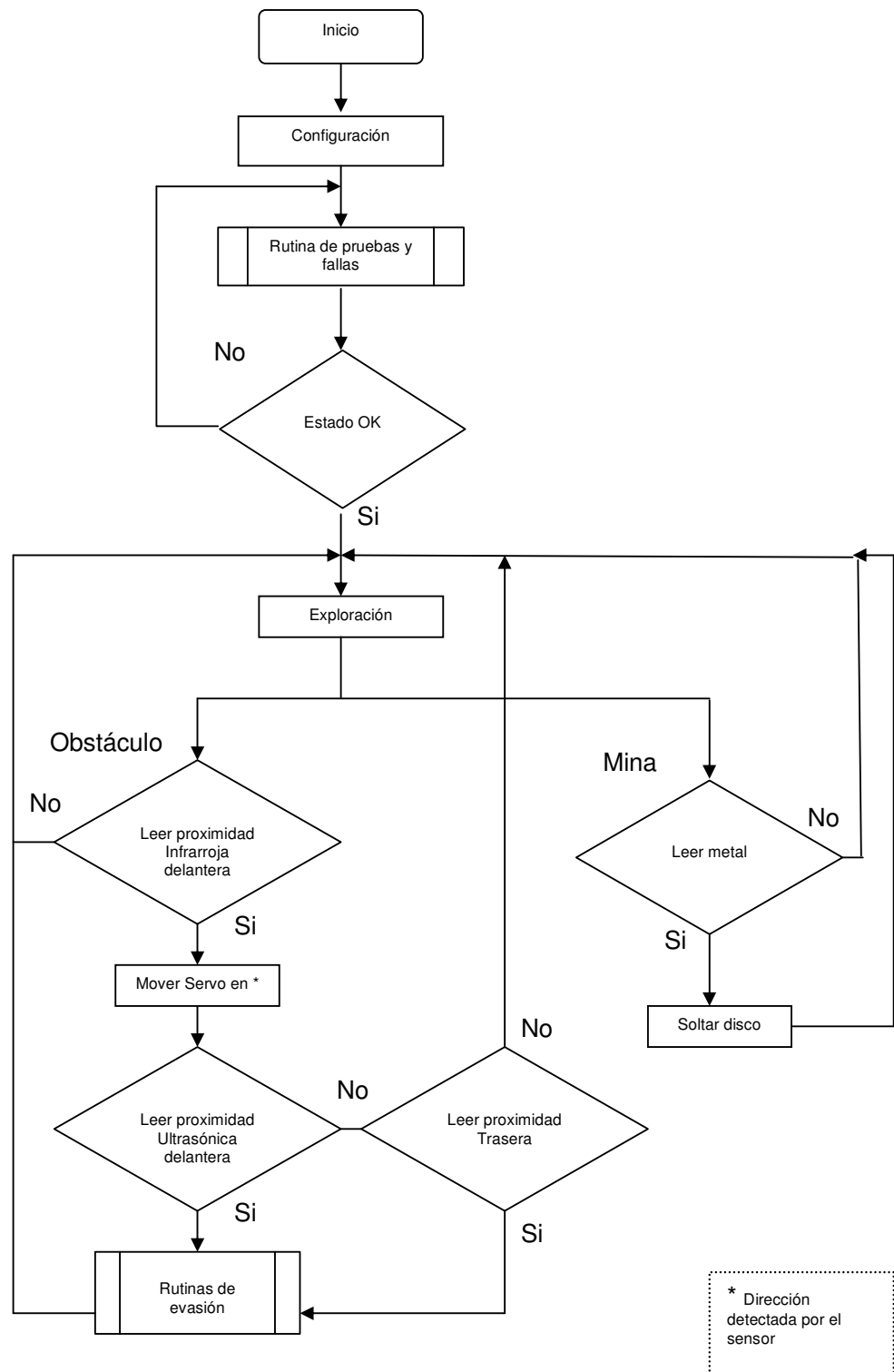
Figura 31. Caja negra del control cerebro.



El control cerebro tiene como principal modo de operación la exploración. En este modo, el control se encarga de recorrer rutinas que permitan explorar el terreno (guiado por la brújula), evaluar las señales de los sensores para realizar alguna maniobra evasiva y no colisionar con algún objeto u obstáculo; al mismo tiempo si detectará la presencia de una mina este inmediatamente colocará un disco en el lugar detectado.



Figura 32. Diagrama de flujo del control cerebro.



**9.3.2.1 Implementación.** Para la implementación del control cerebro se buscó un microcontrolador que contará con la capacidad de procesamiento suficiente para brindarle autonomía al robot, que nos proporcionará módulos de PWM y que también fuera de fácil programación. Por ello se seleccionó el Pic 16F874 que además brinda la oportunidad de poder programarse por el puerto serial del PC.

Figura 33. Esquema funcional del control cerebro.

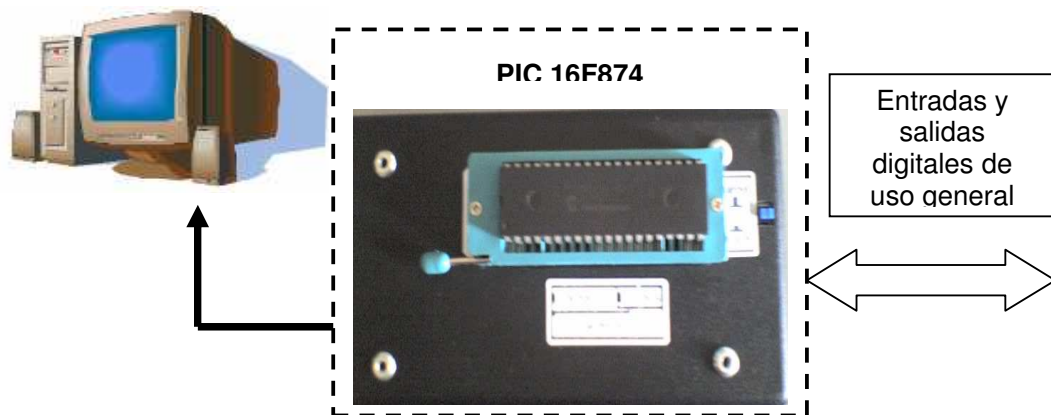
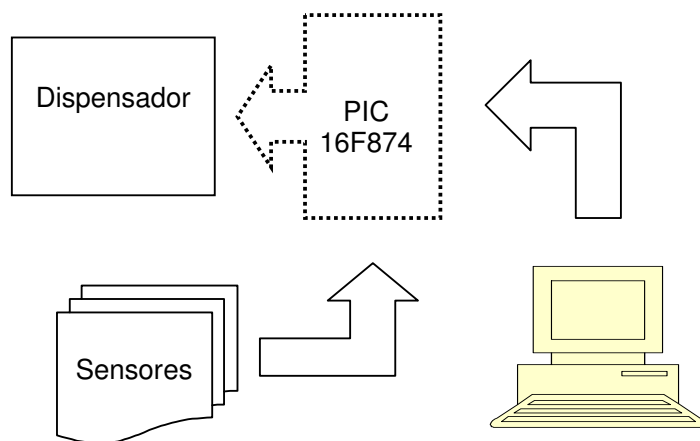


Tabla 11. Especificaciones técnicas PIC16F874.

Key Features PICmicro™ Mid-Range Reference Manual (DS33023)	PIC16F874
Operating Frequency	DC - 20 MHz
RESETS (and Delays)	POR, BOR (PWRT, OST)
FLASH Program Memory (14-bit words)	4K
Data Memory (bytes)	192
EEPROM Data Memory	128
Interrupts	14
I/O Ports	Ports A,B,C,D,E
Timers	3
Capture/Compare/PWM Modules	2
Serial Communications	MSSP, USART
Parallel Communications	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	8 input channels
Instruction Set	35 instructions

Figura 34. Diagrama funcional sistema completo.

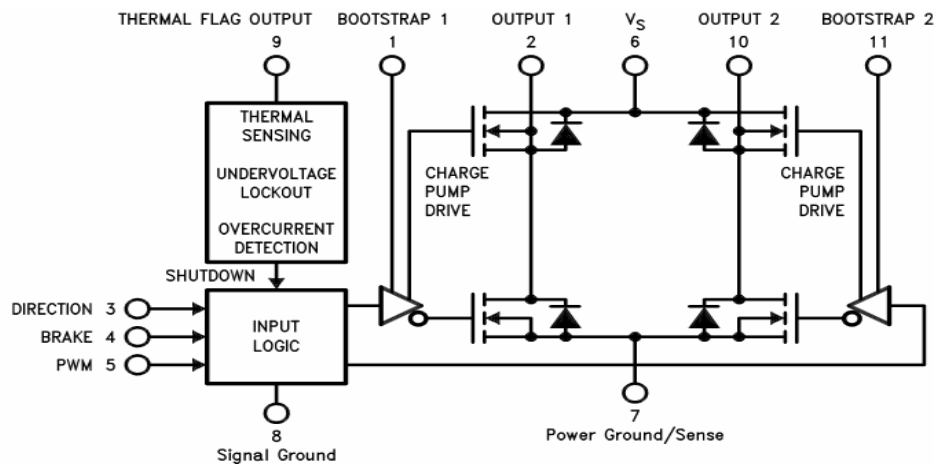


#### 9.4 DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO

El sistema eléctrico consta principalmente del microcontrolador, el driver para el motor principal, el driver para el dispensador y el sensor infrarrojo que se han expuesto con anterioridad.

En cuanto al driver para el motor principal, se implementó un circuito con un puente H de referencia LMD18201. Esta referencia se seleccionó debido al hecho de que la corriente de arranque del motor principal es equivalente a 1A, por esta razón se escogió este dispositivo que cuenta con la capacidad de 3A, además nos brinda la posibilidad de ejercer un control sobre la dirección y velocidad del motor.

Figura 35. Diagrama funcional del LMD18201.



Este puente H funciona por tiempos de conmutación y cuenta con condensadores de enganche de 10nF (recomendados por el fabricante) para realizar esta tarea, estos tiempos funcionan en relación a la siguiente tabla.

Tabla 12. Tabla lógica del LMD18201.

PWM	Dir	Brake	Active Output Drivers
H	H	L	Source 1, Sink 2
H	L	L	Sink 1, Source 2
L	X	L	Source 1, Source 2
H	H	H	Source 1, Source 2
H	L	H	Sink 1, Sink 2
L	X	H	NONE

Figura 36. Tiempos de conmutación.

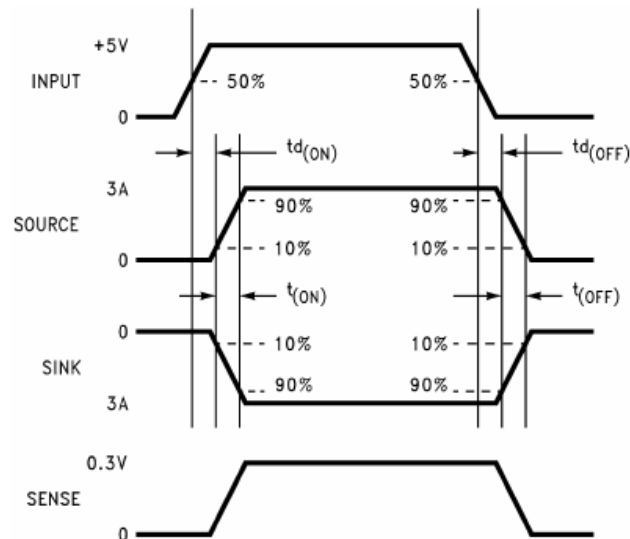
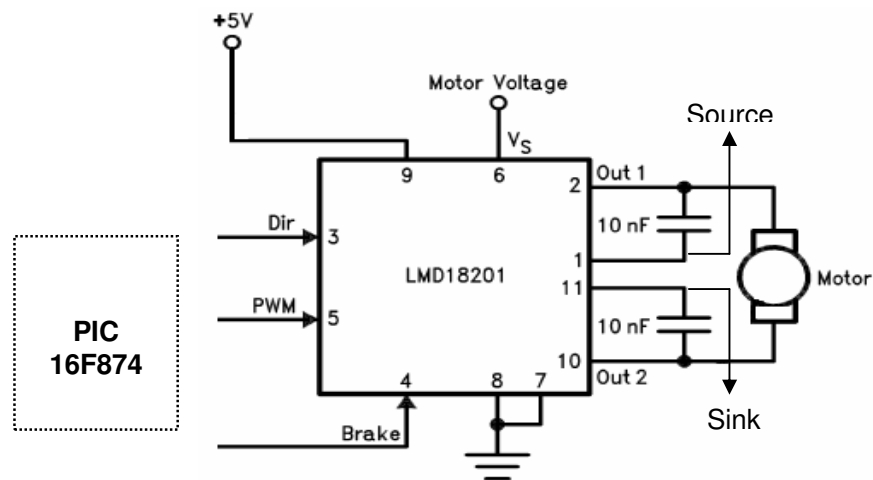


Figura 37. Esquema completo del LMD18201.



Para el control del motor del dispensador se implementará un driver sencillo que permita girar el mismo en ambos sentidos. Al realizar una adecuada búsqueda se encontró el L293 que es un driver que maneja picos de corriente no muy elevados y de fácil manejo y adquisición en el mercado, por tales motivos se decidió utilizar este práctico dispositivo.

El L293 cuenta con dos (2) puente H y cada uno funciona en relación a la siguiente tabla, aunque solo se hará uso de uno (1).

Tabla 13. Funcionamiento del L293.

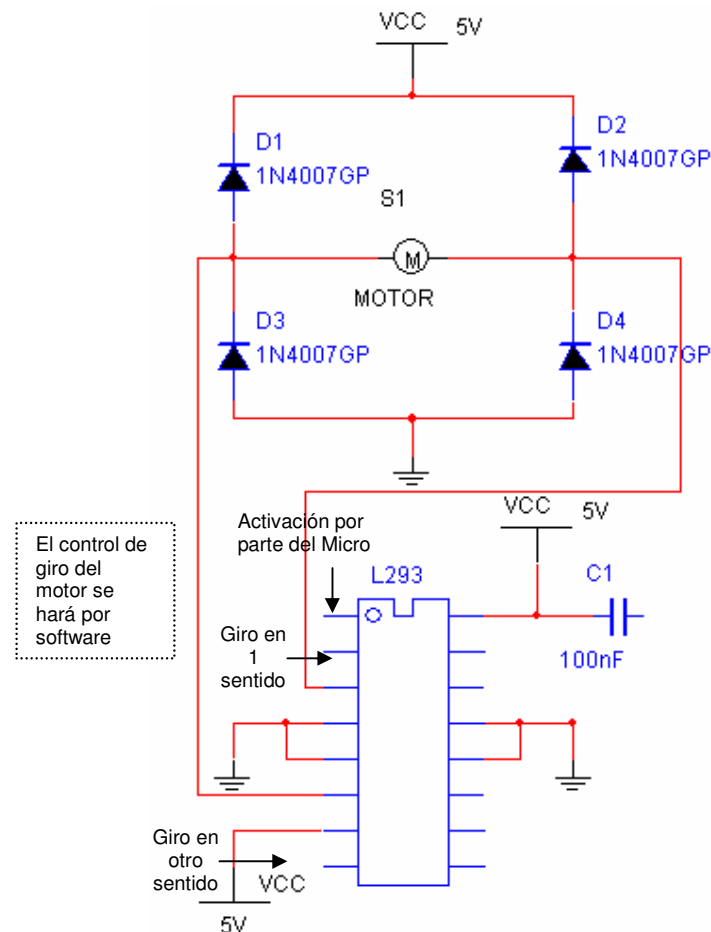
FUNCTION TABLE (each driver)		
INPUTS†		OUTPUT Y
A	EN	
H	H	H
L	H	L
X	L	Z

H = high level, L = low level, X = irrelevant,  
Z = high impedance (off)

† In the thermal shutdown mode, the output is  
in the high-impedance state, regardless of  
the input levels.

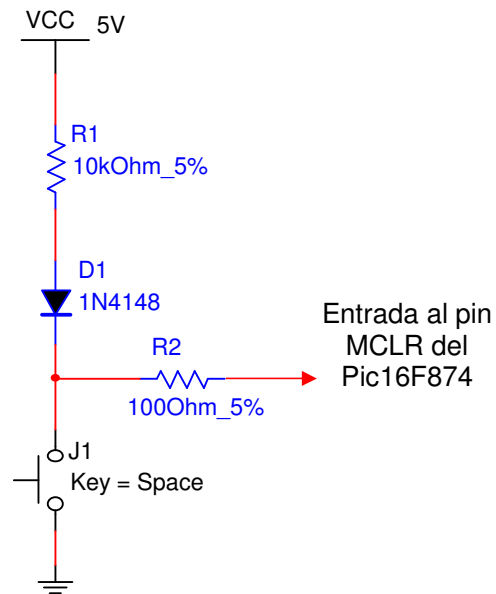
Para implementar esto eléctricamente se consideró evitar posibles interferencias de ruido para el motor dispuesto para soltar el disco y el mismo driver. De igual manera, para poder utilizar este dispositivo para la aplicación destinada se necesita tener un control sobre el giro del motor, para ello se realizó el siguiente circuito.

Figura 38. Control motor dispensador.



En cuanto al microcontrolador, este se alimenta con 5V que son suministrados por un regulador de voltaje (LM7805T) que es más que suficiente para realizar tareas digitales ya que las corrientes no superan 1A. Según la búsqueda realizada en manuales del Pic 16F874 se encontró un circuito de reinicio de funciones. Este circuito cuenta con un circuito limitador o fijador como se ve en la figura, que proporciona un voltaje específico (5V) mientras se presione el pulsador, para posteriormente dejar una señal baja en el pin del reset, ya que este se activa con un nivel alto.

Figura 39. Circuito de Reset.



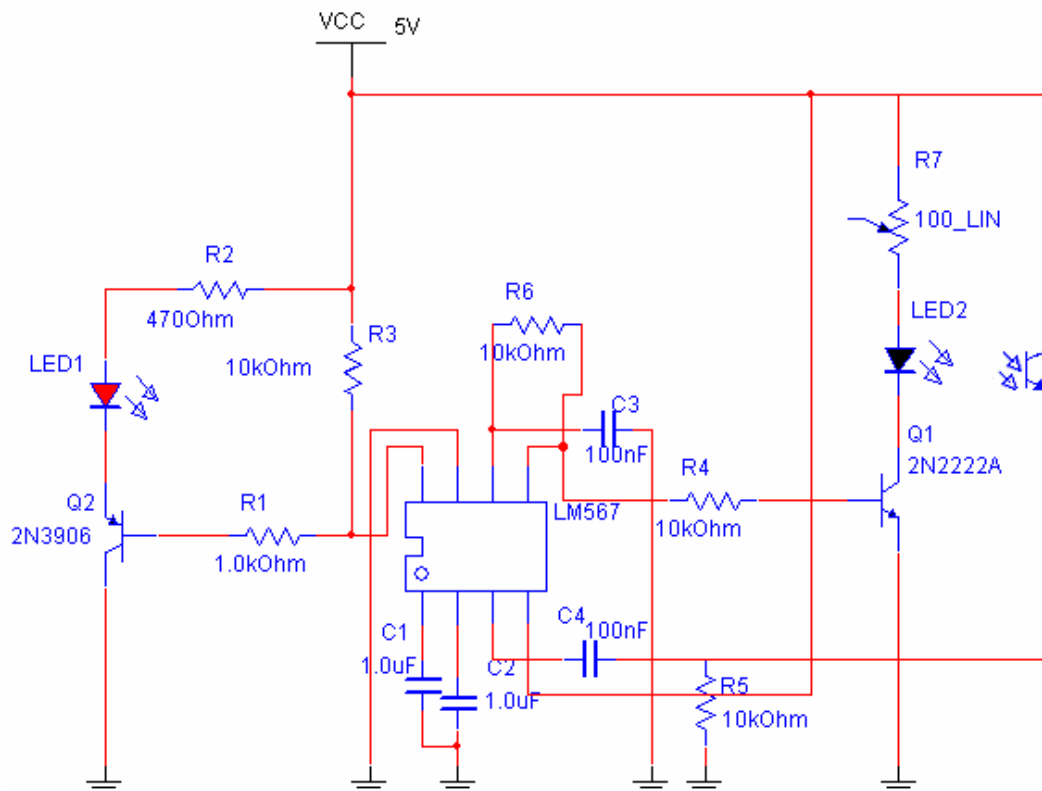
El cristal utilizado para el micro controlador es de 4MHz con condensadores de 15pF.

Como parte del sistema eléctrico, se encuentra interesante el desarrollo del sensor de proximidad infrarrojo, el cual como ya se mencionó con anterioridad maneja rangos de 4 a 10 cm. modificables, por medio del Trimmer que se aprecia en la figura, el cual cambia la sensibilidad al led infrarrojo (emisor) y así este entrega un mejor haz de luz que será receptado por el foto-transistor (o foto-diodo) que se encuentra implementado en el circuito. Este cuenta con un decodificador de tono (LM567) que funciona como un oscilador de doble frecuencia, en donde las especificaciones de la frecuencia, ancho de banda y retardo de la salida están determinados por los componentes externos que complementan el circuito. Para este circuito la resistencia R5 y el condensador C5 fijan la frecuencia con la cual el decodificador de tonos compara con la generada por la interrupción del haz de luz, cuando estas frecuencias sean iguales la salida del LM567 entregará un nivel bajo ('0') detectando así la



proximidad de un objeto (encendiendo el testpoint), de lo contrario se mantendrá el nivel alto (5V) por medio de la resistencia R3 que se encuentra pull-up.

Figura 40. Esquema sensor infrarrojo.



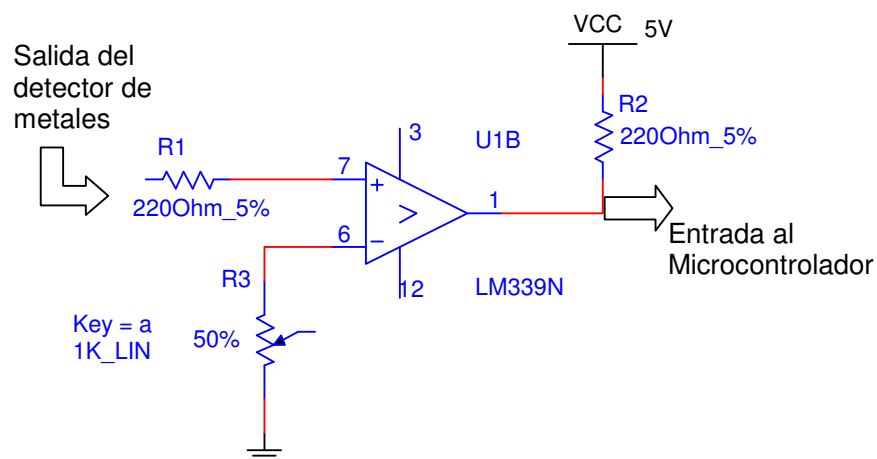
Tal como se aprecia este circuito cuenta con un testpoint (Led) para indicarme la funcionalidad del circuito.

Todos los sensores contarán con sus testpoints para poder verificar su funcionalidad.

Todos los led's utilizados para las aplicaciones tienen resistencias de protección de 330Ohm que me garantizan que por estos pasen 14mA, respetando el rango estipulado por los fabricantes.

En el caso de la lectura obtenida por el detector de metales se recurrió a la ayuda de un comparador (LM339), el cual funciona básicamente manejando unos voltajes de referencia, que pertenecen al máximo y mínimo valor de voltaje que puede arrojar el sensor de metales. En base a estos voltajes, el comparador entregará un nivel alto ('1') si la detección corresponde al rango estipulado con anterioridad y un nivel bajo ('0') en caso contrario. Este comparador irá acompañado de unas resistencias de 220Ohm tanto para la recepción del máximo voltaje que entrega el sensor de metales como para la salida del comparador (a pull-up) para garantizar una lectura de 5V.

Figura 41. Acondicionamiento de la señal del sensor de metales.



Para la selección de las baterías se propone el uso de baterías estándar recargables de 7.2V de Tyco que son de fácil adquisición en el mercado y responden a las necesidades energéticas del robot. Estas le brindan al robot aproximadamente una duración de 25 minutos. Queda a disposición del usuario

si persiste en la alimentación mediante esta herramienta o la conexión a la red eléctrica.

Por último, se dispuso de solo un interruptor para la desconexión de la tierra común de la alimentación y parar todo el sistema.

*Ver planos de los circuitos impresos en los anexos.*

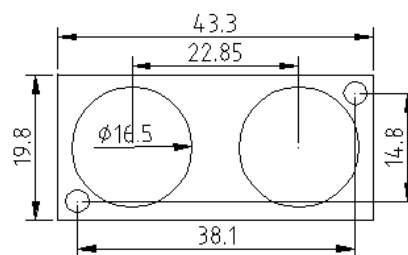
## 9.5 DESCRIPCIÓN DE LOS SENSORES

Los sensores seleccionados en la etapa de diseño tal como se habían mencionado eran de tipo infrarrojo (diseñados), ultrasónicos que me permitían detectar proximidad para facilitar la navegación del robot sin tener contacto directo con los obstáculos que pueda encontrarse; y una brújula digital para ayudar a la navegación del robot por medio de la orientación.

Al realizar una búsqueda de proveedores y encontrar principalmente facilidad para la adquisición de los sensores no diseñados, se encontró vía Internet en la tienda super-robótica y las referencias son el SRF05 para los sensores ultrasónicos (2), en donde el rango viene definido por la distancia del eco (pulso) en relación al objeto; y la CMPS03 para la brújula digital que cuenta con una resolución de 0.1 grados.

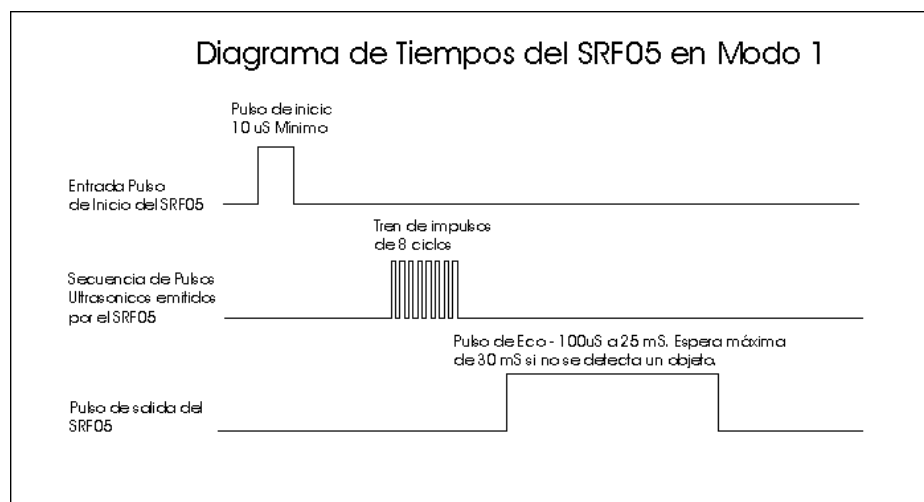
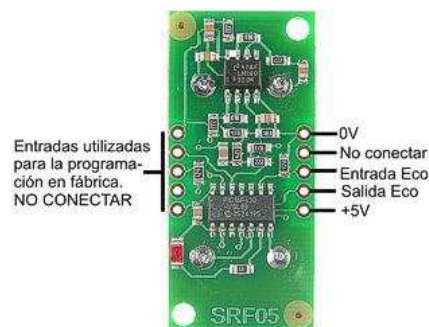
### 9.5.1 Sensor Ultrasónico.

Figura 42. Sensor ultrasónico SRF05.



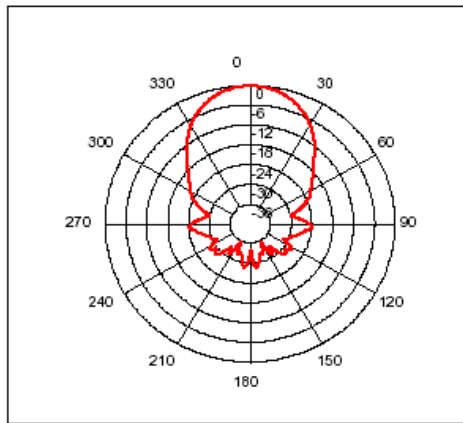
Este sensor utiliza 2 modos de operación siendo el primero de ellos el más fácil de operar y el cual se seleccionó. Este utiliza dos (2) pines independientes, uno para la señal de salida de la medición, y otro para el retorno del eco.

Figura 43. Modo de operación del SRF05.



El SRF05 proporciona un pulso de eco proporcional a la distancia. Si el ancho del pulso se mide en  $\mu$ S el resultado se debe dividir entre 58 para obtener la distancia en centímetros.

Figura 44. Patrón y ancho de haz del SRF05.



Dado el caso de que se quisiera modificar el patrón y ancho del haz del sensor, según los fabricantes no se puede reducir o cambiar de manera sencilla. El patrón de haz del sensor es cónico mientras que el ancho de haz es una función del área de la superficie de los transductores y es fijo.

**9.5.2 Brújula digital.** Este es un sensor de campos magnéticos que una vez calibrado me ofrece una precisión de 3-4 grados y una resolución de décimas. Tiene 2 modos de operación, uno mediante pulsos temporizados (modulación en anchura), y otro por medio de un bus I2C (protocolo), lo cual facilita su comunicación con una alta gama de microcontroladores.

El modo de operación seleccionado corresponde al bus I2C, el cual maneja 2 señales principales SDA (señales de datos) y SDL (señal de reloj), es una interfaz serie bidireccional sincrónico.

Este modo nos permite realizar una lectura directa en grados de la dirección. El protocolo de comunicación I2C empleado en el módulo es el mismo que se emplea con la populares eeprom. Primero se envía un bit de inicio, la dirección del módulo (0XC0) con el bit de lectura a cero, y a continuación el número del registro que se desea leer. Después se vuelve a mandar el bit de inicio y la dirección del módulo con el bit de lectura a uno (0XC1). Ahora se puede leer uno, o los dos bytes correspondientes a los registros de 8 y 16 bits respectivamente. (El byte de mayor peso se lee primero en los registros de 16 bits).

Figura 45. Funcionamiento del protocolo I2C.

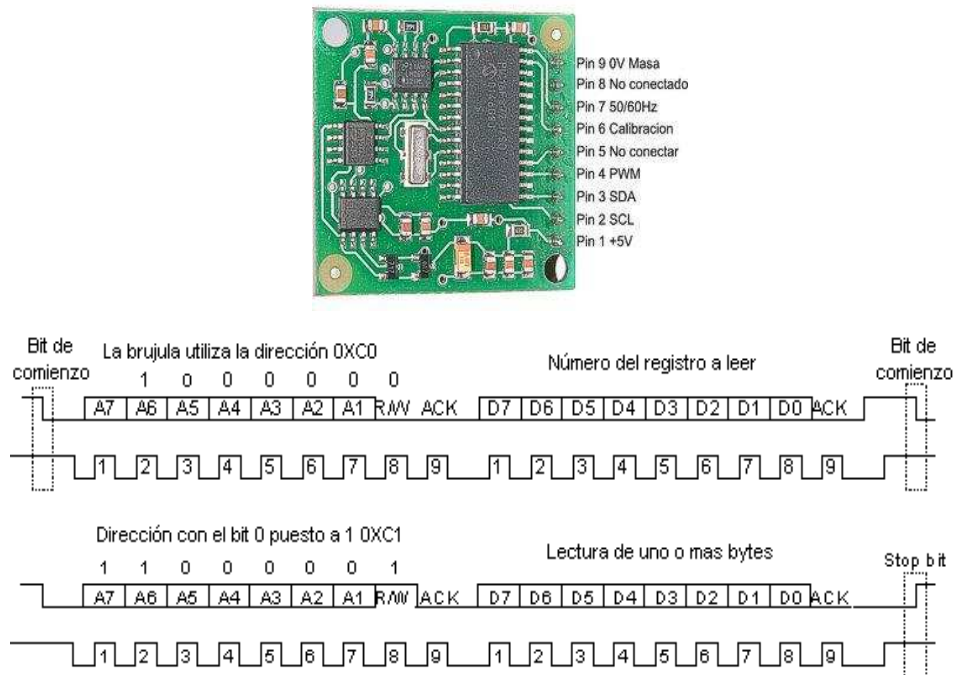


Tabla 14. Registros de la brújula CMPS03.

Registro	Función
0	Numero de Revisión del Software
1	Dirección. en 1 byte 0-255 para 0 – 360º
2,3	Dirección. en 2 bytes 0-3599 para 0 – 359,9º
4,5	Test interno señal diferencial sensor 1
6,7	Test interno señal diferencial sensor 2
8,9	Test interno, valor de calibración 1
10,11	Test interno, valor de calibración 2
12	Sin usar, devuelve 0
13	Sin usar, devuelve 0
14	Sin usar, devuelve 0
15	Comando de calibración, escribir 255 para calibrar

El pin 7 que corresponde a este sensor se usa para seleccionar entre 50Hz (puesta a cero) o 60Hz (puesta a uno) esto es debido a una desviación errónea de unos 1,5° causada por el campo generado por la red eléctrica. Sincronizando la conversión con la frecuencia en hercios de la red, se consigue disminuir el error a tan solo 0,2°. El pin si cuenta con una resistencia interna de pull up, por lo que si se deja sin conectar, funcionara a 60 Hz. El circuito realiza una conversión interna cada 40ms (para 50 Hz) o cada 33,3 ms (para 60Hz), de acuerdo con la conexión de esta entrada. No hay ningún tipo de sincronismo entre la realización de la conversión y la salida de los datos, ya que cuando estos son leídos se devuelven el valor más reciente que este almacenado en su respectivo registro.

Por último, y de vital importancia la calibración de la brújula se puede realizar de 2 formas, por I2C y por pulsador. Antes de realizar la calibración, el modulo deberá mantenerse perfectamente horizontal con los componentes hacia arriba y los dos sensores en la cara inferior. Se debe mantener el modulo alejado de objetos metálicos y muy especialmente de objetos magnéticos como imanes y altavoces. También es necesario conocer con precisión la dirección en la que se encuentran los cuatro puntos cardinales, por lo que es absolutamente necesario comprobarlo con una brújula magnética.

El primer método consiste en escribir 255 en el registro 15 del modulo por cada uno de los cuatro puntos cardinales. El valor 255 es borrado internamente cada vez que se completa la calibración

- Apunte el circuito hacia el Norte. Escriba 255 en el registro 15
- Apunte el circuito hacia el Este. Escriba 255 en el registro 15
- Apunte el circuito hacia el Sur. Escriba 255 en el registro 15
- Apunte el circuito hacia el Oeste. Escriba 255 en el registro 15

El segundo método, consiste en utilizar un pulsador entre masa y el pin 6 del circuito, con el fin de iniciar la calibración se debe tener en cuenta que este pin

tiene una resistencia de polarización interna y puede dejarse sin conectar una vez realizada la calibración, para realizar la calibración, bastara con poner a masa el pin 6 momentáneamente por cada uno de los puntos cardinales. De igual forma que con el anterior método, los puntos pueden calibrarse en cualquier orden, pero siempre es necesario calibrar los 4 puntos cardinales.

- Apunte el circuito hacia el Norte. Pulse momentáneamente en pulsador.
- Apunte el circuito hacia el Este. Pulse momentáneamente en pulsador.
- Apunte el circuito hacia el Oeste. Pulse momentáneamente en pulsador.
- Apunte el circuito hacia el Sur. Pulse momentáneamente en pulsador.

### 9.5.3 Detector de metales.

Figura 46. Detector de metales K7102 de Velleman Inc



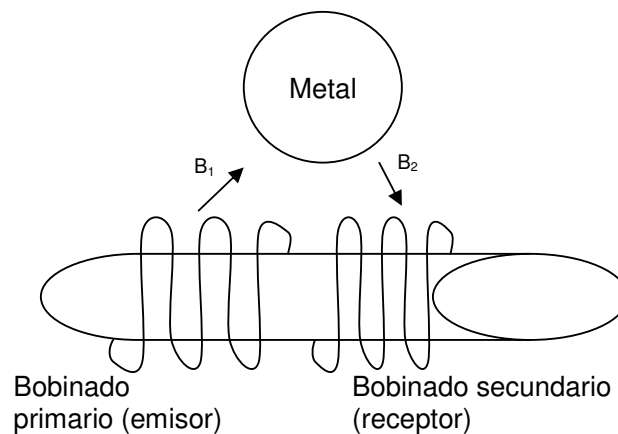
Tal como se aprecia en la figura anterior, la bobina de exploración cuenta con un mismo núcleo (tubo de ferrita); los fenómenos electromagnéticos generados por los campos del bobinado emisor y el receptor comparten una misma corriente ( $I$ ) que es generada por la f.e.m. inducida al primer bobinado y que es transmitida por medio del metal al bobinado receptor.

La detección del metal se resume básicamente a que mientras más grande sea el campo magnético mayor será la distancia en que detecte el metal, dado lo anterior, lo que se busca es que el bobinado primario (emisor) me genere un campo magnético ( $B_1$ ) en el exterior que al alcanzar un metal, este en reacción a ese campo magnético generará unas corrientes parasitas (corriente inducida) que en respuesta a ellas me generará un nuevo campo magnético ( $B_2$ )



proporcional al anterior, que será inducido al bobinado secundario (receptor) generando una corriente y f.e.m. que serán analizadas por el resto del circuito realizando así la detección del metal (mina).

Figura 47. Funcionamiento de la detección del metal.



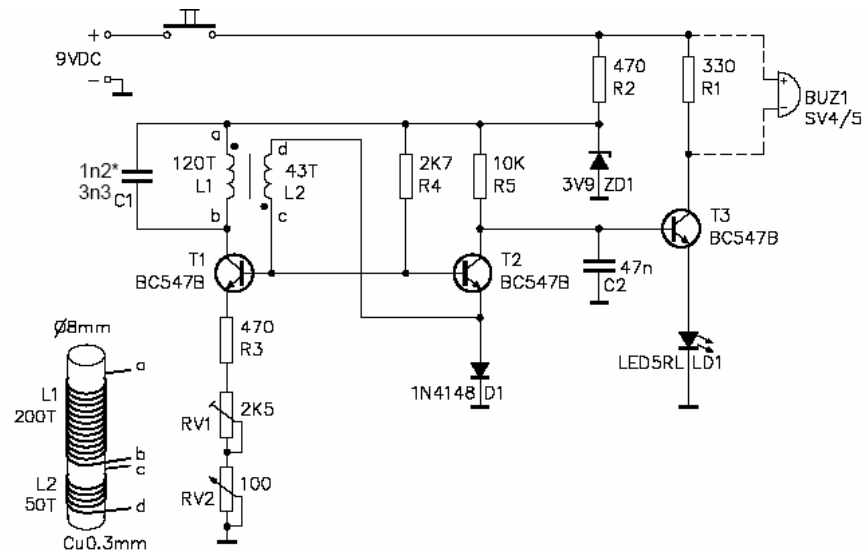
En base a esto, se realizaron modificaciones teniendo en cuenta los siguientes criterios

$$B = \frac{\mu_0 * N * I}{l} \quad \left\{ \begin{array}{l} B \text{ es directamente proporcional } N \\ B \text{ es directamente proporcional } I \\ B \text{ es directamente proporcional } 1/l \end{array} \right\}$$

$\mu_0$  = índice de permeabilidad magnética del núcleo  
 $N$  = número de espiras  
 $I$  = Corriente inducida  
 $l$  = Longitud del cable

Como aumentar el campo por medio de la corriente no es aconsejable, se optó por aumentar el número de espiras en el bobinado primario y secundario.

Figura 48. Esquema del detector de metales.



Como medio alternativo, en el circuito se cuenta con un espacio reservado para un zumbador (referencia SV4/12) para obtener una medida sonora del metal (mina). Adicional a esta información cuenta con un led que me indicará la cercanía del metal dependiendo de su luminosidad.

## 9.6 RESULTADOS FINALES DEL DESARROLLO

Figura 49. Modelo virtual del robot “Diminer”.

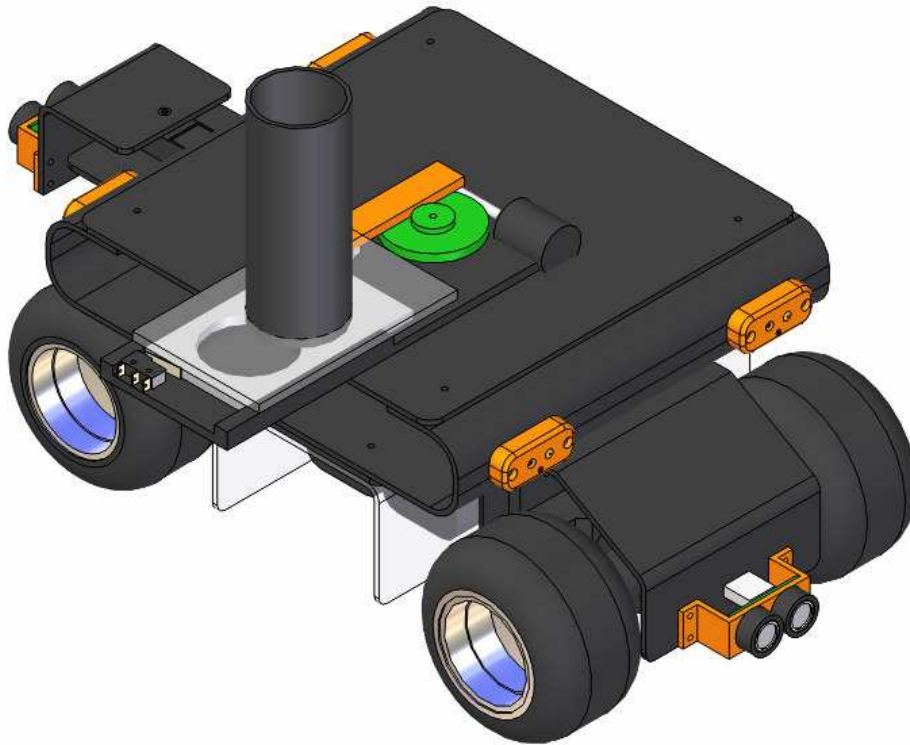


Figura 50. Fotografía del robot “Diminer” construido.



## 10. CONCLUSIONES

- En esta investigación se presentó el proceso de diseño y desarrollo de un robot móvil detector de minas; teniendo en cuenta todos los factores y funciones que este debía desempeñar, se investigó en diferentes áreas de la ingeniería como lo son la robótica, los sistemas microprocesados, diseño mecánico, diseño concurrente, teorías electromagnéticas, etc.
- En el robot se implementaron los sensores apropiados que le permitieran medir información del ambiente y así tomar decisiones para la aplicación destinada.
- Al contar con la adecuada selección y efectividad de los sensores, el robot logró poseer una inteligencia capaz de desempeñarse eficientemente en terreno adverso minado, evadiendo obstáculos como también evitando colisionar con otros objetos móviles.
- Gracias a la implementación de sensores como la brújula digital, se logró crear una apropiada estrategia de navegación del terreno adverso al que se enfrenta el robot Diminer.
- Para efectuar la tarea principal del robot, se implementó un sensor detector de metales.
- Para lograr una identificación de las minas, se dotó al robot con un dispensador de discos plásticos (fichas).
- Gracias a la flexibilidad de la arquitectura con la cual cuenta el robot, este presenta la posibilidad de adaptarse a otras aplicaciones debido a la selección de los sensores y los rangos definidos.

## **BIBLIOGRAFIA**

ANGULO U, José María; ROMERO Y, Susana; ANGULO M, Ignacio. Microcontroladores PIC – Diseño práctico de aplicaciones 2da parte PIC16F87X y PIC18FXX. 2 ed. España: McGraw-Hill, 2006. 374 p.

MALVINO, Albert P. Principios de electrónica. 6 ed. España: McGraw-Hill, 2000. 1111 p.

PALACIOS, Enrique; REMIRO, Fernando; LOPEZ, Lucas J. Microcontrolador PIC16F84 – Desarrollo de proyectos. México: Alfaomega – Ra-ma, 2004. 623 p.

SERWAY, Raymond A; JEWETT. Jhon W. Física II. 3 ed. Mexico: Thomson, 2004. 544 p.

ULRICH, Kart T.; EPPINGER, Steven D. Diseño y desarrollo de productos-enfoque multidisciplinario. 3 ed. México: McGraw-Hill, 2004. 366 p.

## **BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA**

BERTOLINE, Gary R.; WIEBE, Eric N.; MILLER, Craig L.; MOHLER, James L. Dibujo en ingeniería y comunicación gráfica. 2 ed. México: McGraw-Hill, 1997. 1127 p.

Detector de metales [en línea]. Madrid: Traducción autorizada al castellano por: Pedro Vidal ([pfvidal@terra.es](mailto:pfvidal@terra.es)), 2003. [Consultado en Febrero 16 de 2007]. Disponible en Internet:

<http://www.mech.uwa.edu.au/ipd/demining/tech/detect/md-intro/text.html>.

GIAMARCHI, Frédéric. Robot Móviles: Estudio y construcción. España: Paraninfo, 2001. 141 p.

L293 DataSheet [en línea]. Estados Unidos: Texas Instruments, 2004. [Consultado en Febrero 15 de 2007]. Disponible en internet: <http://www.alldatasheets.com>.

LM567 DataSheet [en línea]. Estados Unidos: National Semiconductor, 1999. [Consultado en Febrero 15 de 2007]. Disponible en internet: <http://www.alldatasheets.com>.

LMD18201 DataSheet [en línea]. Estados Unidos: National Semiconductor, 2000. [Consultado en Febrero 15 de 2007]. Disponible en internet: <http://www.alldatasheets.com>.

Metal Detector K7102 DataSheet [en línea]. Estados Unidos: Velleman INC, 2004. [Consultado en Febrero 15 de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.robotstore.com>.

Pic 16F87Xa DataSheet [en línea]. Estados Unidos: Microchip, 2001. [Consultado en Febrero 15 de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.alldatasheets.com>.

Proyectos de investigación sobre robótica móvil [en línea]. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2005. [Consultado en Febrero 20 de 2007]. Disponible en Internet: [http://scienti.colciencias.gov.co:8081/ciencia.war/search/EnGrupoInvestigacion/xmlInfo.do?nro\\_id\\_grupo=0009304719M1IO](http://scienti.colciencias.gov.co:8081/ciencia.war/search/EnGrupoInvestigacion/xmlInfo.do?nro_id_grupo=0009304719M1IO)

Robots móviles [en línea]. Capitulo 1: introducción a los robots móviles. Madrid: 2004. [Consultado en Febrero 15 de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.eis.uva.es/amuva/proyecto/proyecto.htm>.

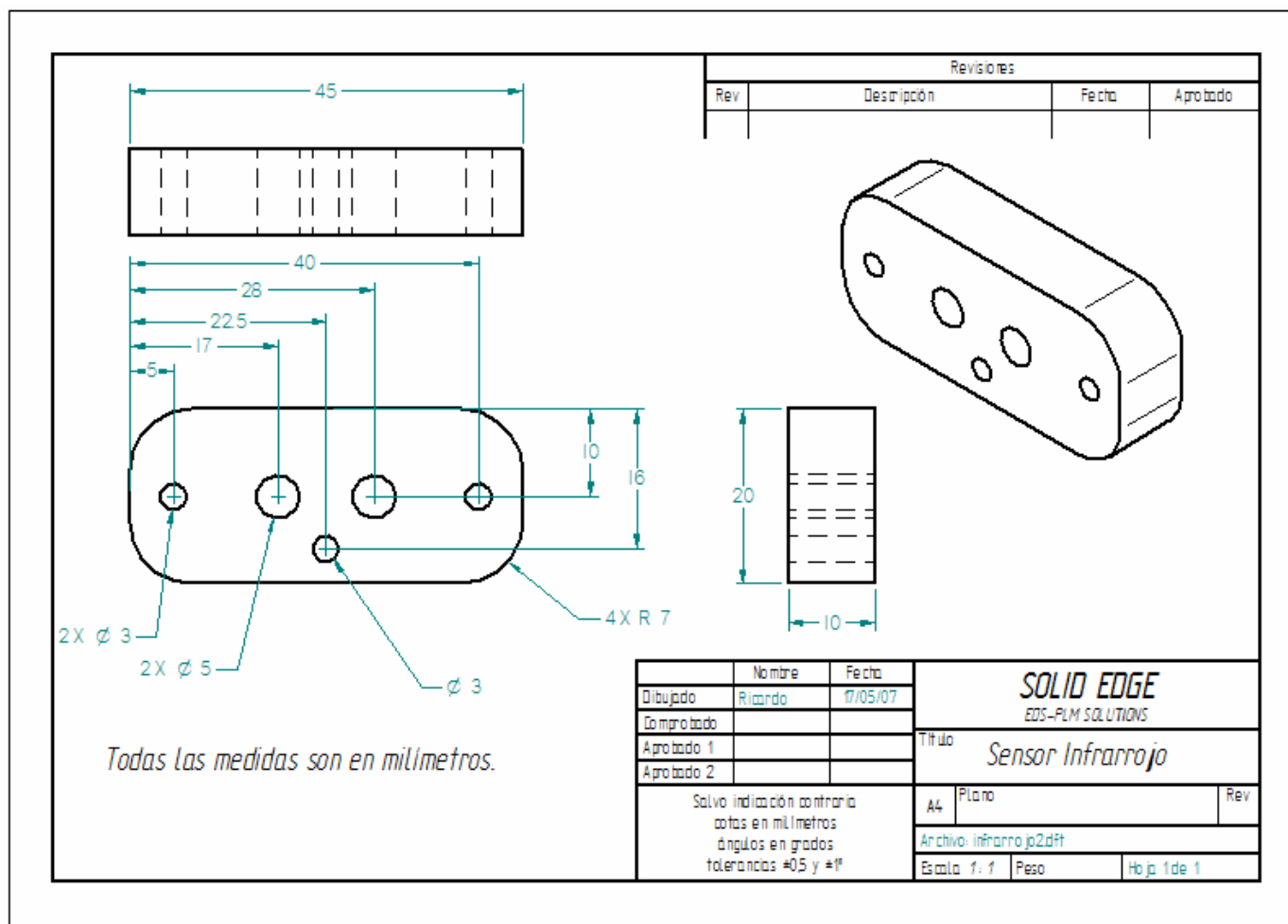
Sensor brújula digital S320160 [en línea]. Sevilla: Súper Robótica, 2001. [Consultado en Marzo 24 de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.superrobotica.com/S320160.htm>

Servomotor Parallax Standard DataSheet [en línea]. Estados Unidos: Parallax INC, 2004. [Consultado en Febrero 15 de 2007]. Disponible en internet: <http://www.parallax.com>.

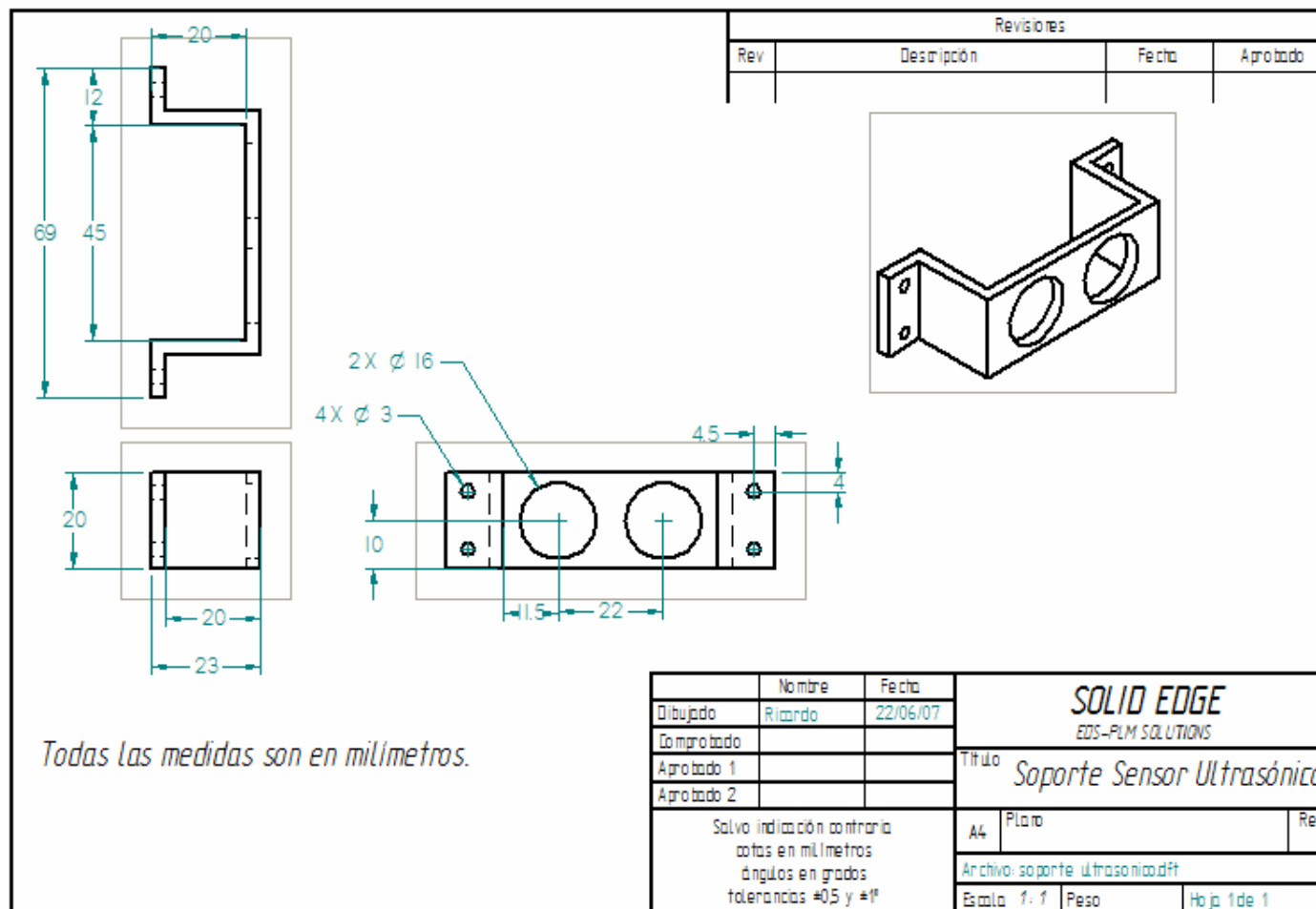
Servomotor Hitech HS475HB S330170 [en línea]. Sevilla: Súper Robótica, 2001. [Consultado en Marzo 24 de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.superrobotica.com/S330170.htm>

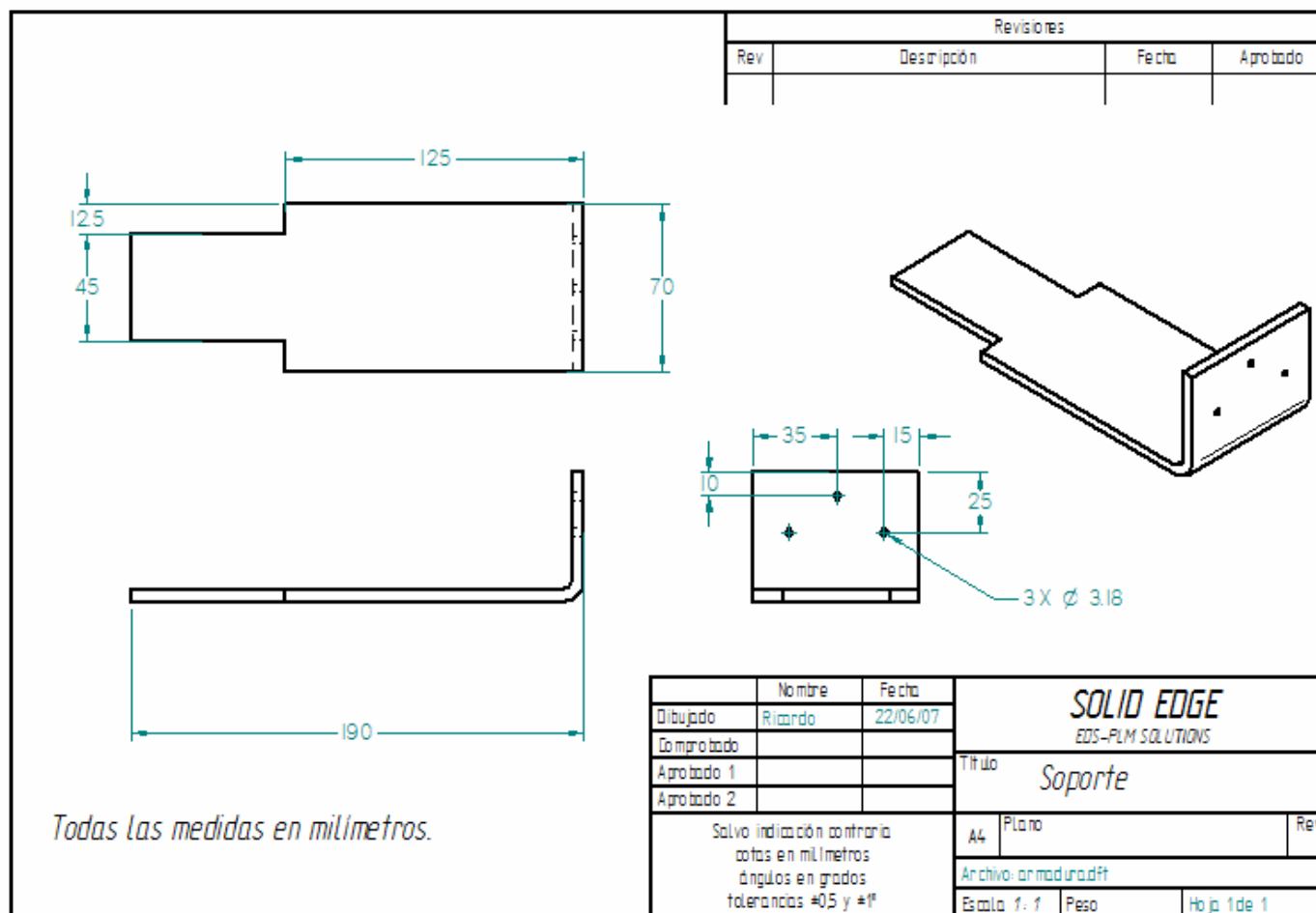
SRF05 Sensor distancias ultrasonidos simples S320111 [en línea]. Sevilla: Súper Robótica, 2001. [Consultado Marzo 24 de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.superrobotica.com/S320111.htm>

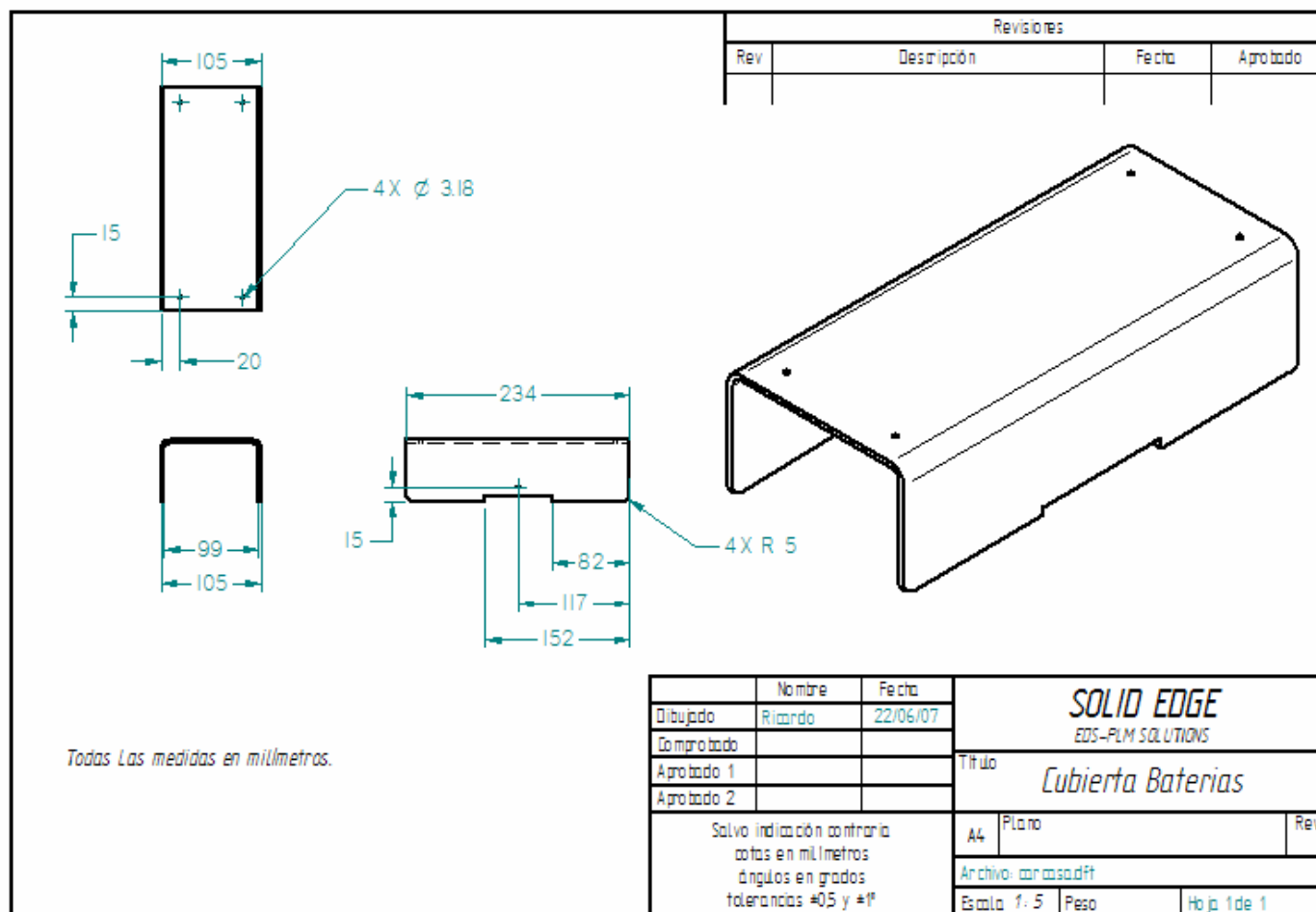
## Anexo A. Planos de despiece

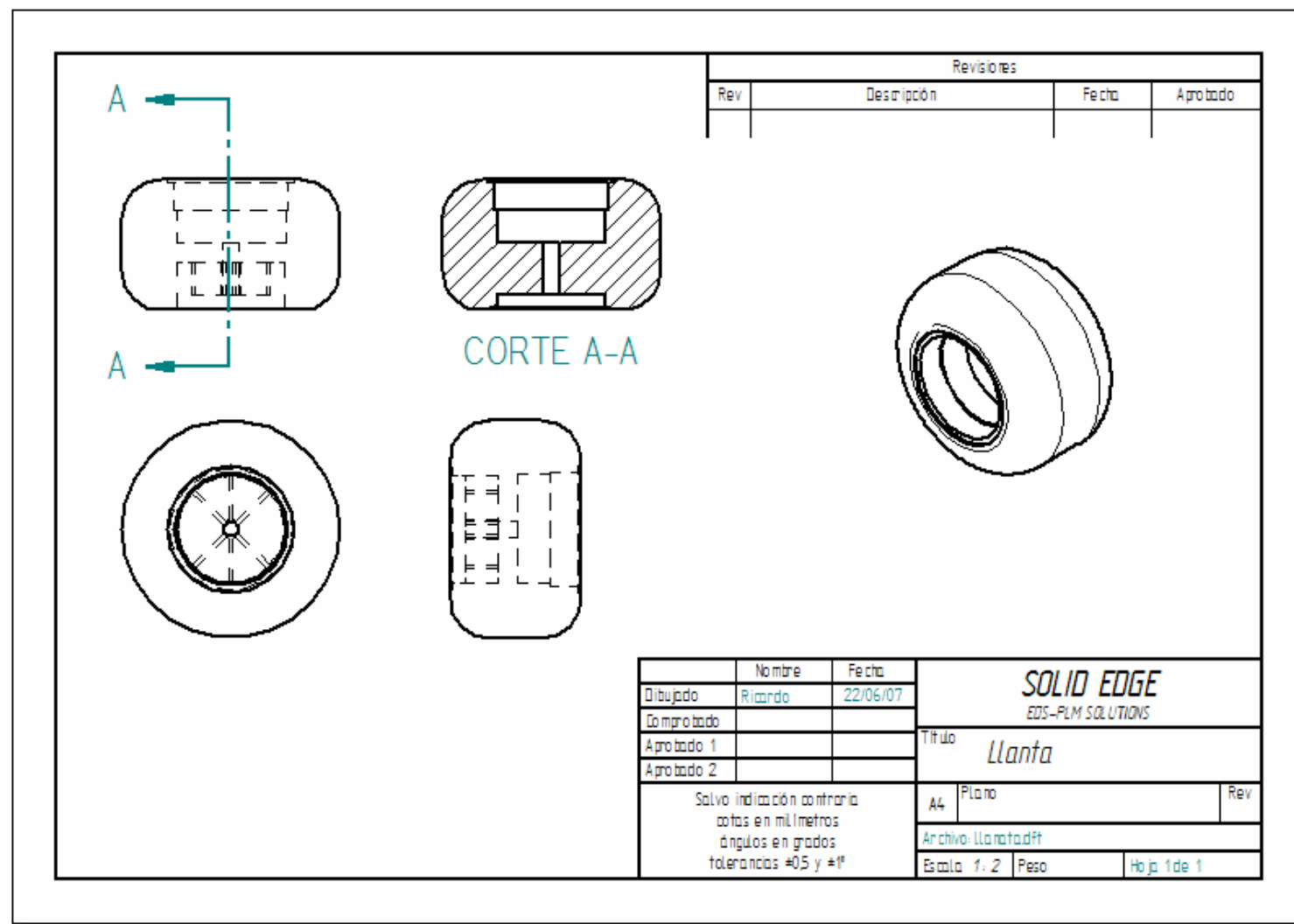


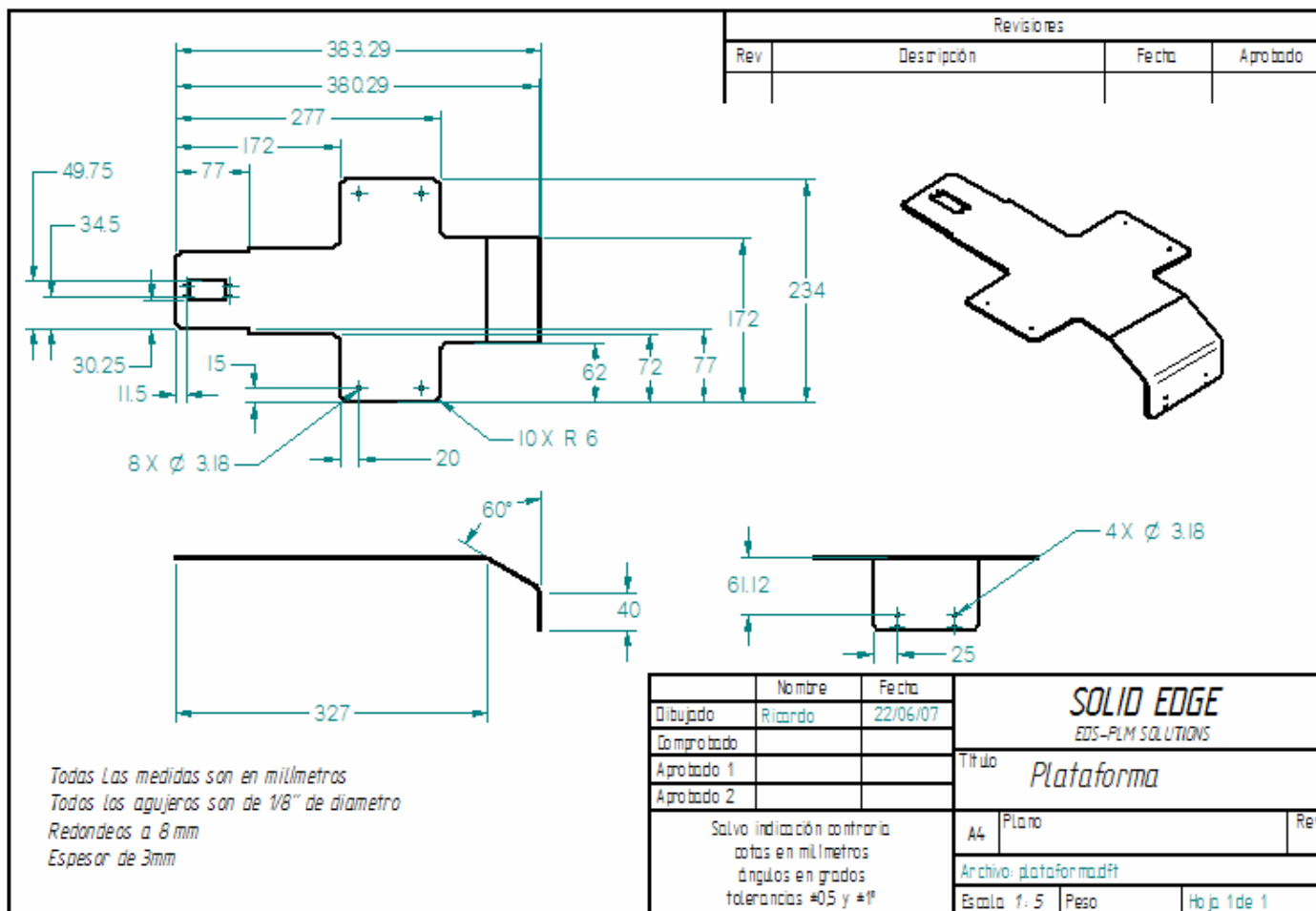


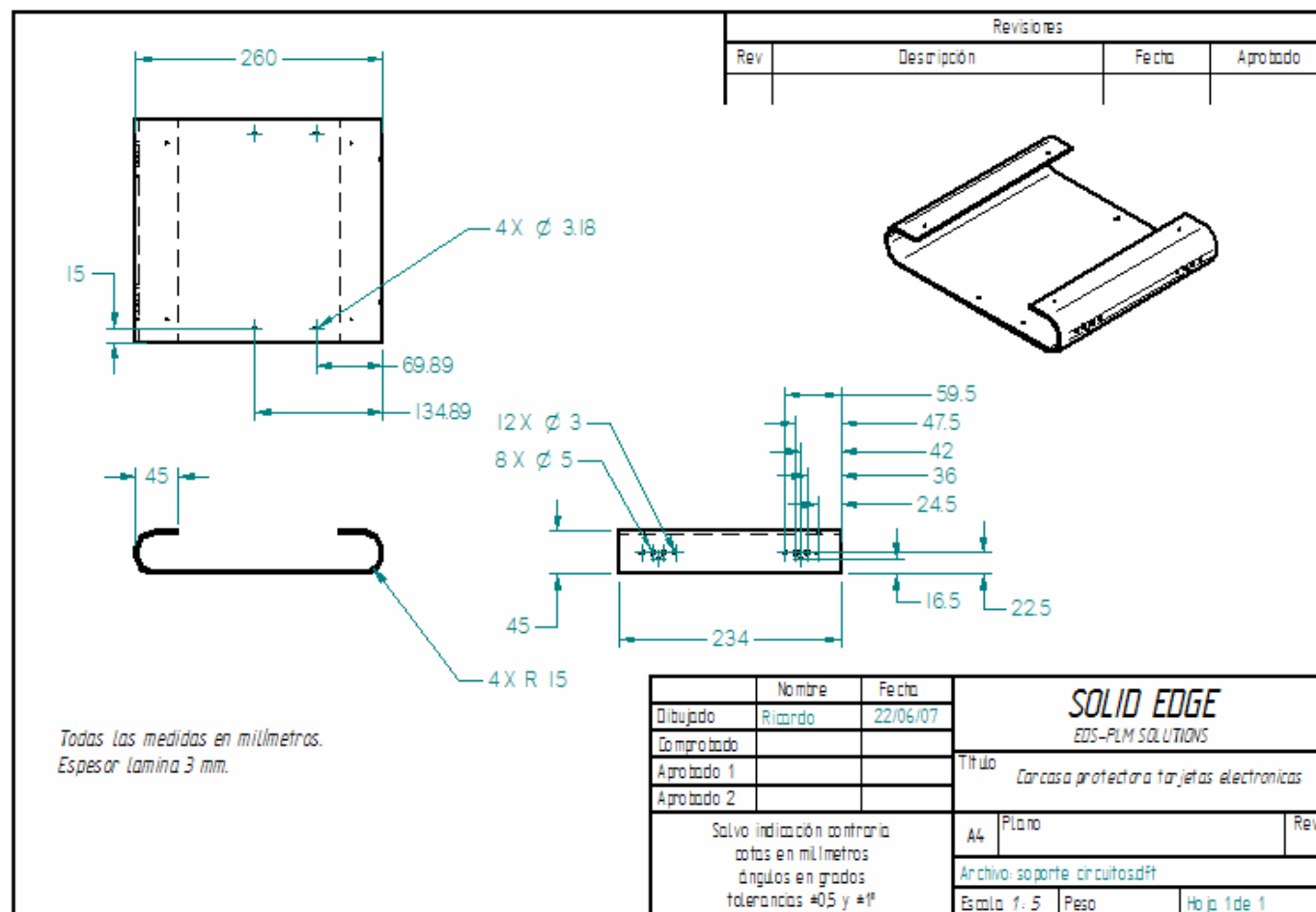


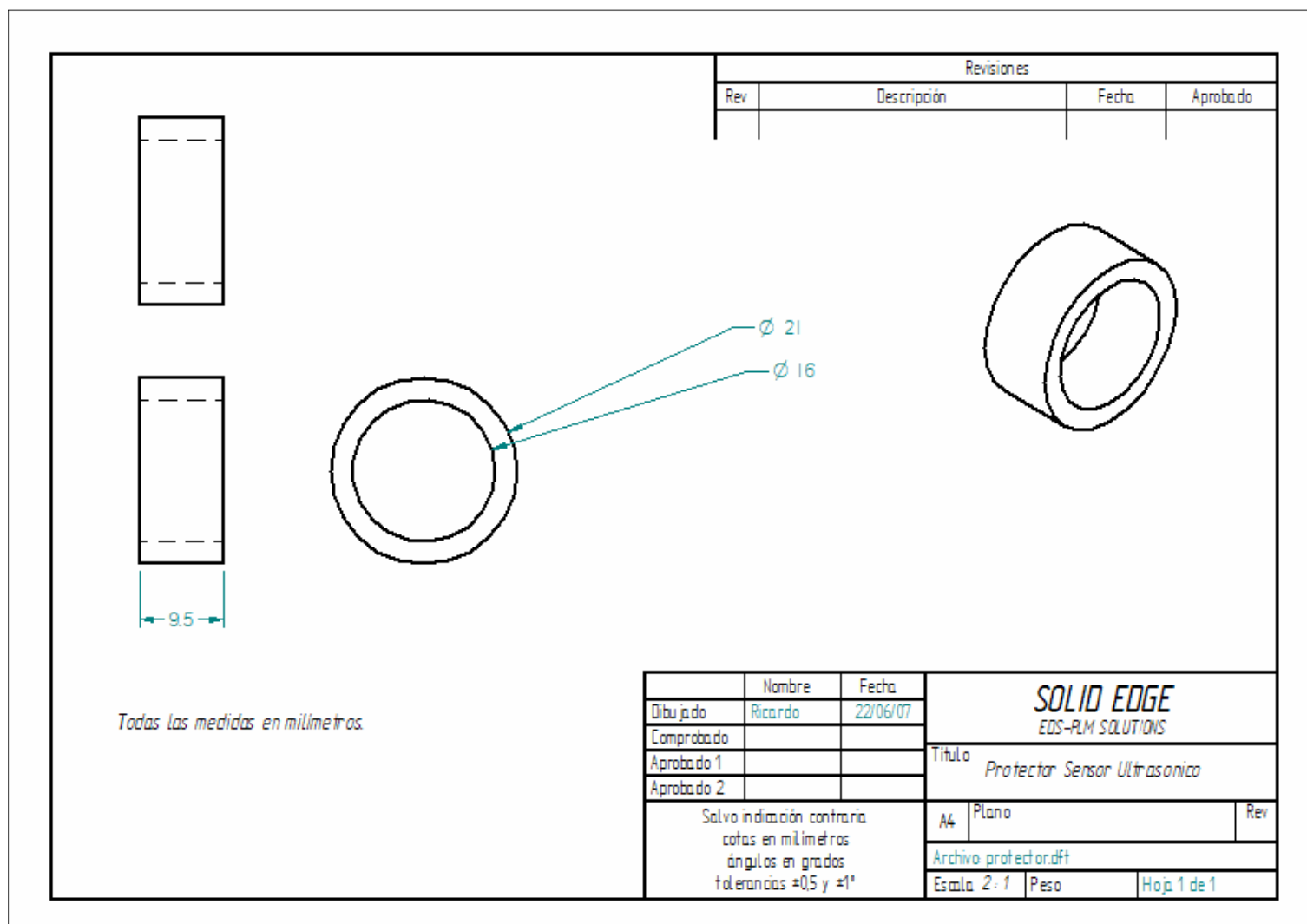


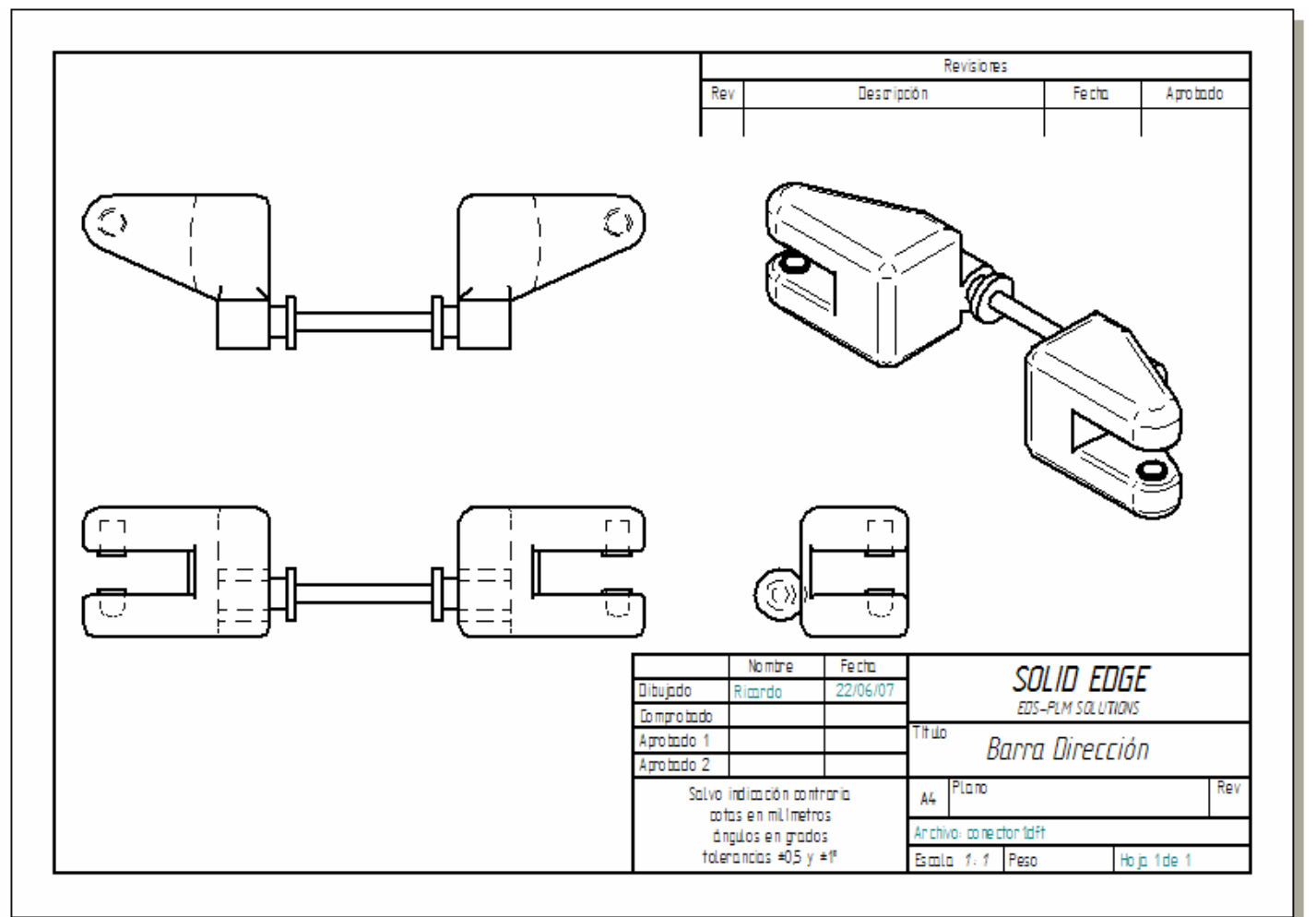






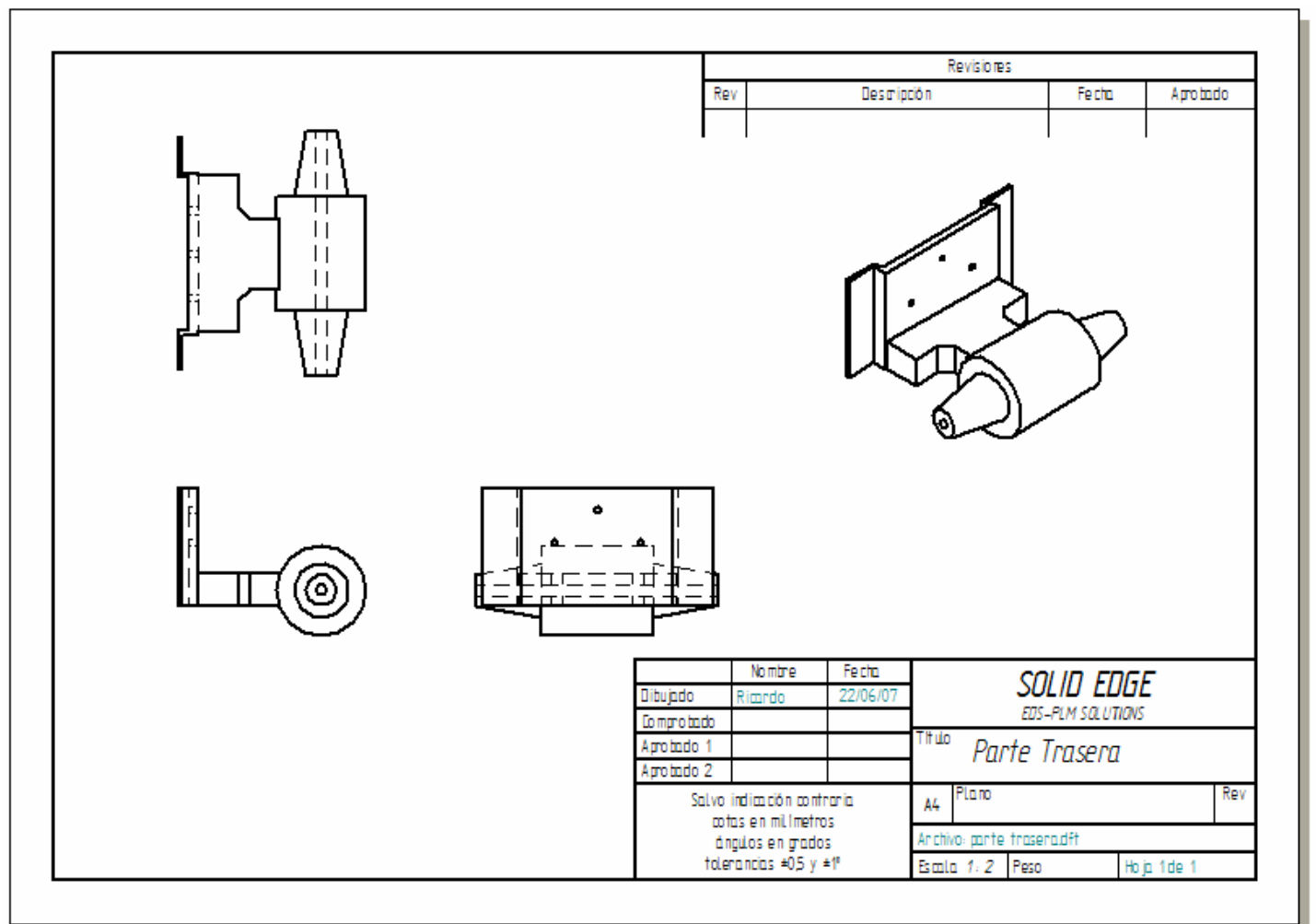




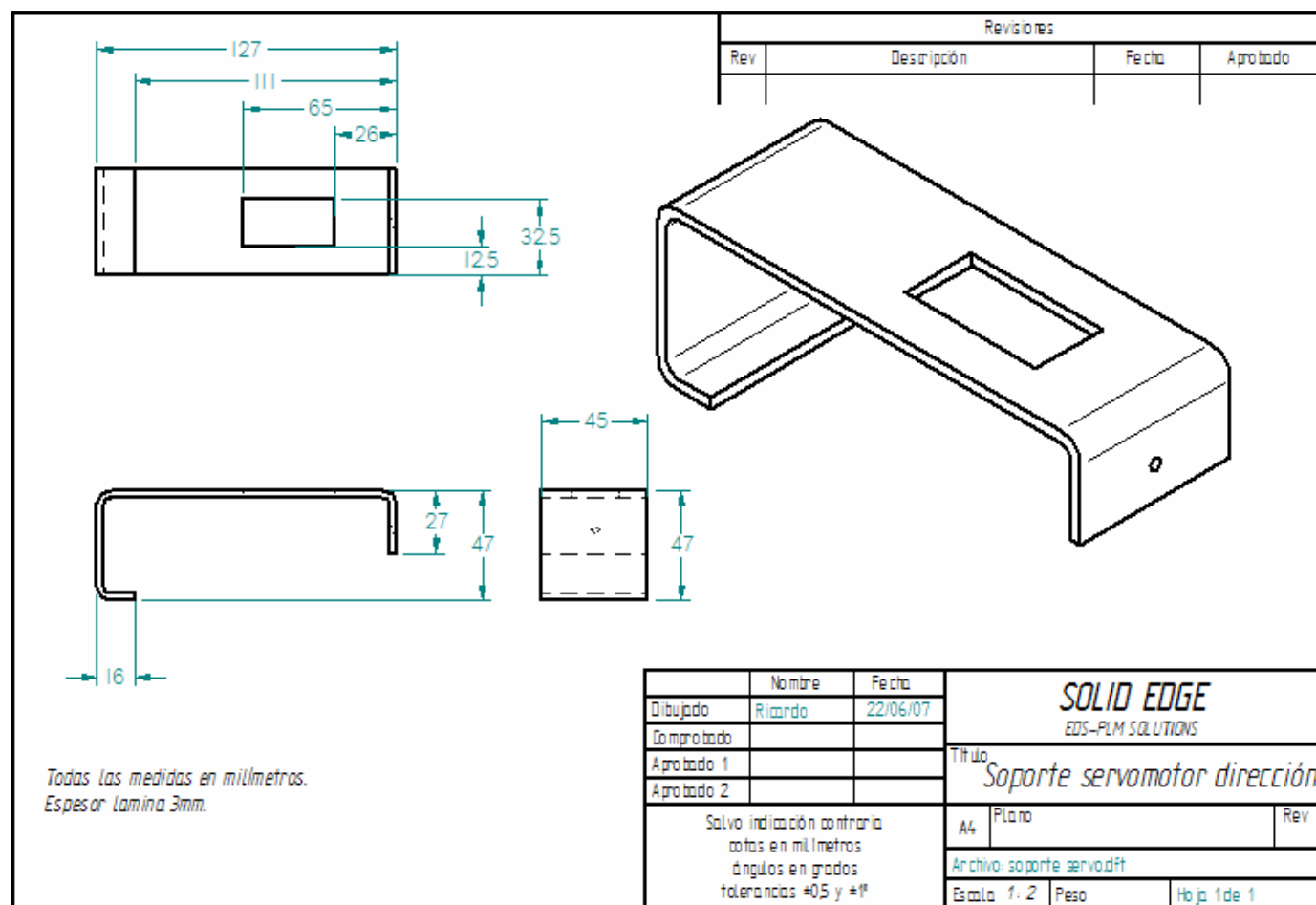


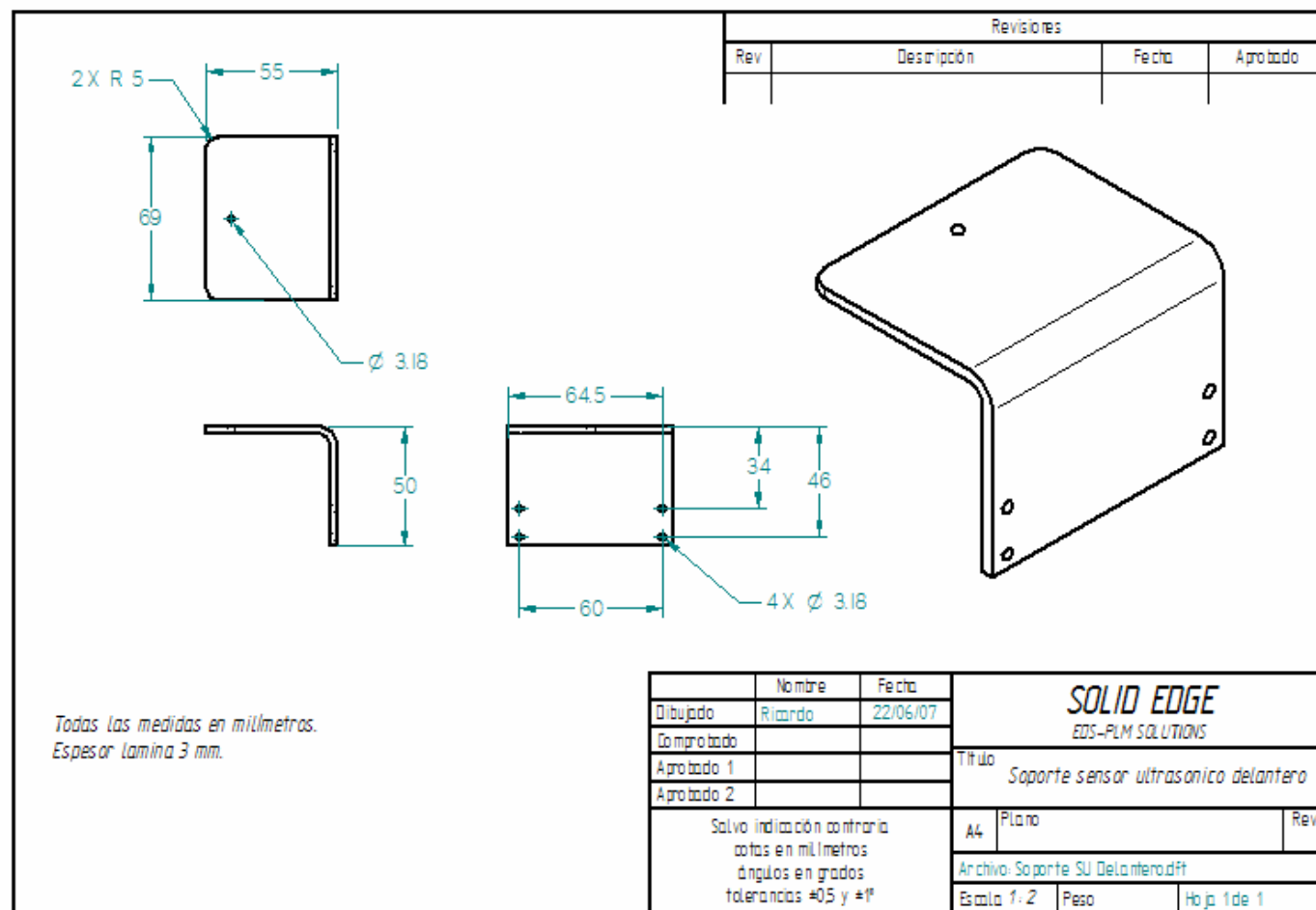
<sup>2</sup> No se acota. La pieza es original de fábrica

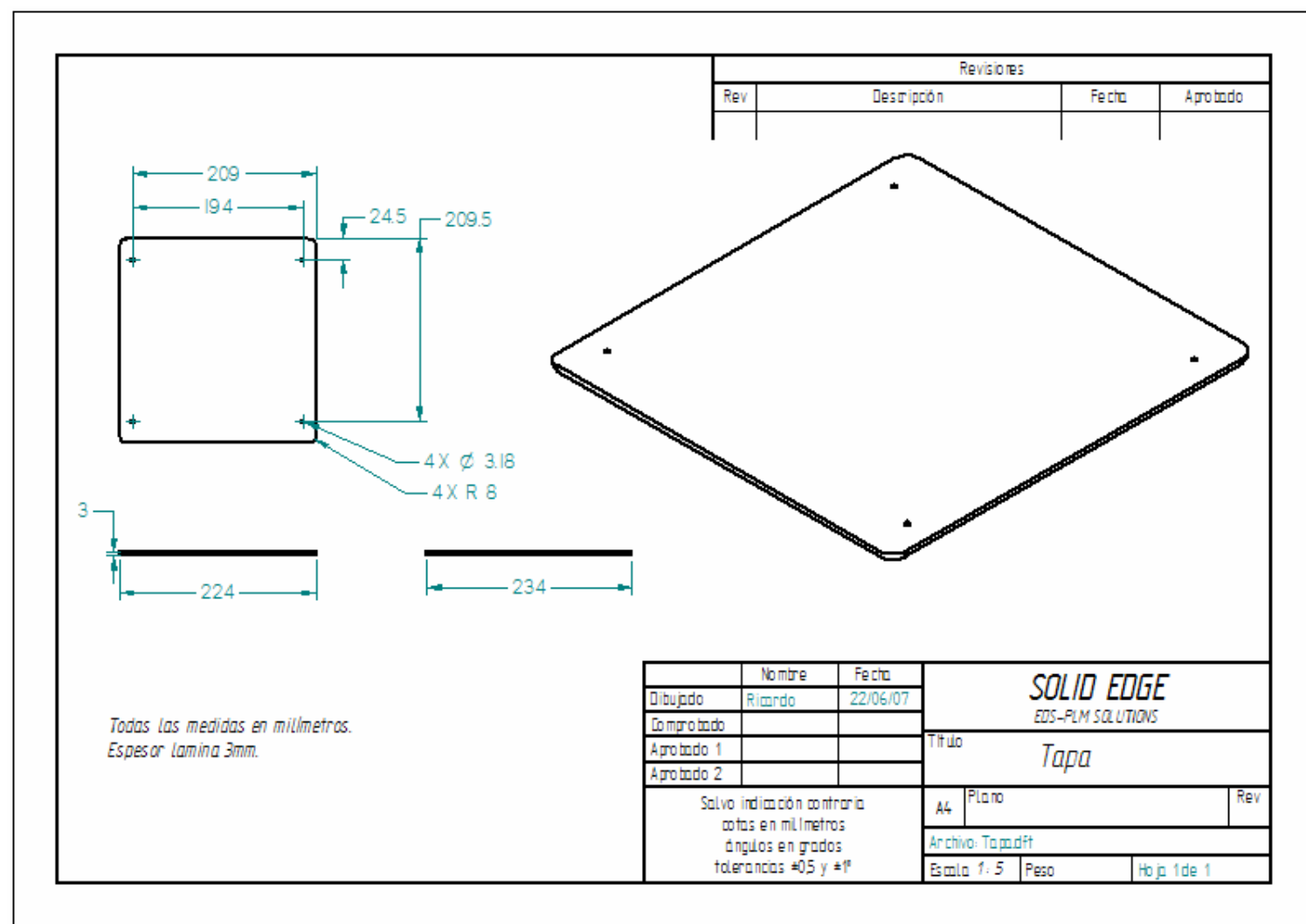




<sup>3</sup> No se acota. La pieza es original de fábrica.

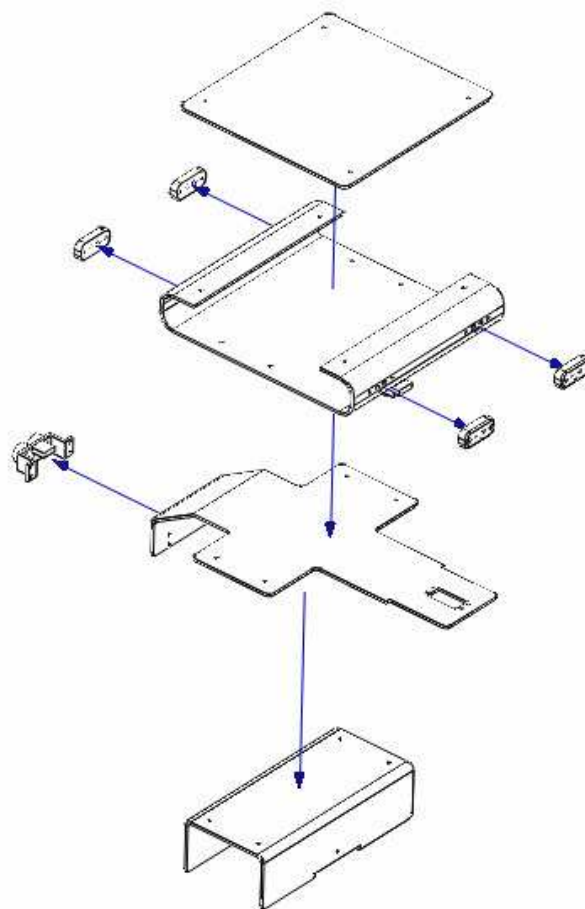




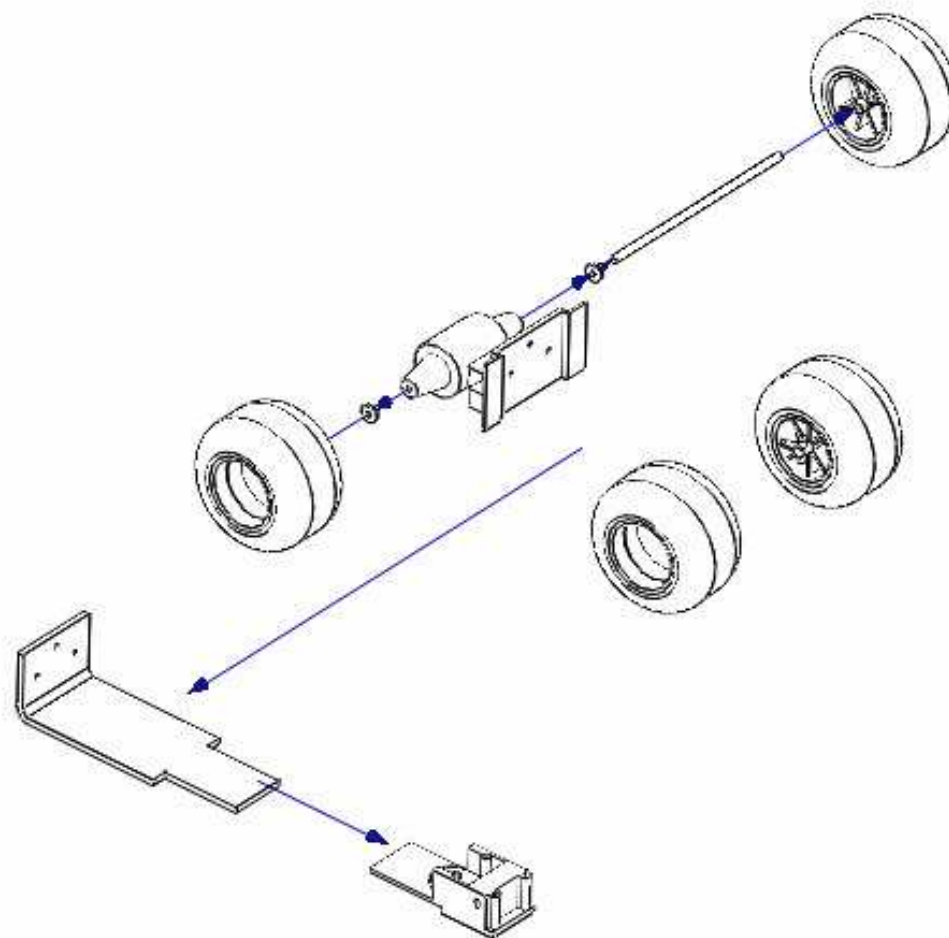


## Anexo B. Planos de subensamble

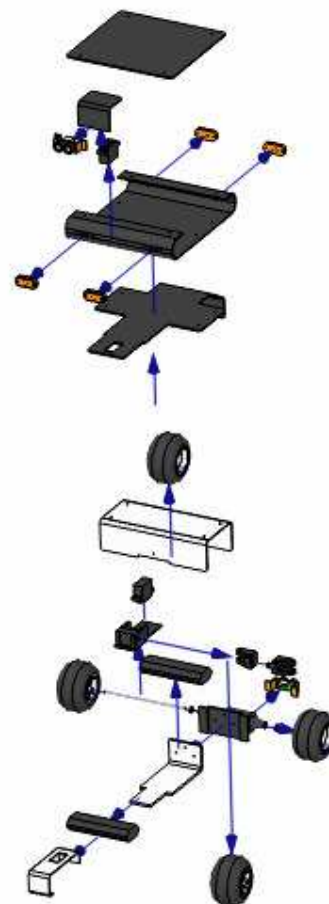
Soporte inferior-superior



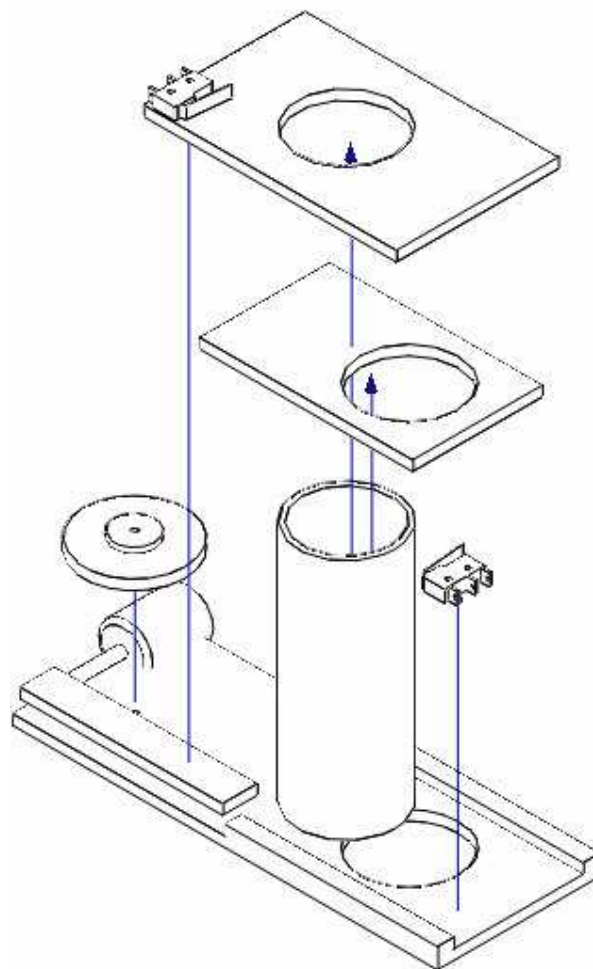
Tren delantero-trasero



## Esquema general



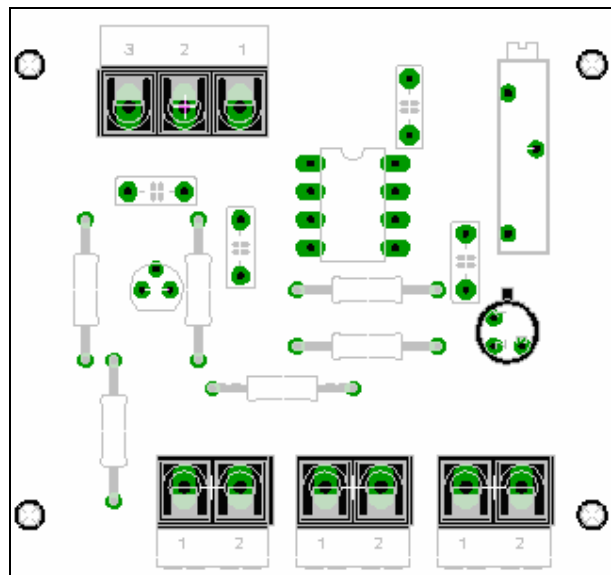
## Dispensador





## Anexo C. Planos eléctricos

Layout Sensor infrarrojo



## Layout Tarjeta Micro

